
UNAM
20704
INSTITUTO DE GEOLOGÍA - CU


BIBLIOTECA
DE GEOLOGIA
GEOLOGIA
DE G
BIBLIOTECA



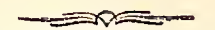
ESTUDIOS

SOBRE LOS

FENÓMENOS ELÉCTRICOS DE LA ATMÓSFERA

POR

ALFONSO LUIS VELASCO.



MÉXICO
OFIC. TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Calle de San Andrés núm. 15.

1890

ADVERTENCIA.

Debo confesar que el pequeño libro que hoy publico sobre los fenómenos eléctricos de la atmósfera, no es el resultado de mis observaciones personales, sino del estudio de varios meteorologistas europeos, que han hecho progresar esta importante parte de la meteorología.

Mi único deseo, al dar á la estampa este librito, es el de popularizar el conocimiento de ciertos fenómenos atmosféricos debidos á la electricidad, y que el vulgo cree milagros ó castigos del cielo.

Emprendí este trabajo en Enero de 1889 publicando lo relativo al rayo globular y algo sobre el granizo, en el ilustrado periódico electro-

técnico *La Revista Telegráfica de México*, que con tanto acierto é inteligencia redacta mi buen amigo, el estudioso electricista D. Francisco A. Soní.

Hoy aprovecho el folletin de *La Revista Agrícola*, para proporcionarme el placer de verlo en forma de libro, y por si fuere de alguna utilidad á los numerosos lectores de tan importante publicacion.

México, 1º de Julio de 1890.

ALFONSO LUIS VELASCO.

ESTUDIOS

SOBRE

LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS DE LA ATMÓSFERA.

Vamos á presentar un ligero estudio sobre los principales fenómenos ígneos; pero sobre todo, á explicar los diversos fenómenos que acompañan la aparicion del *rayo globular*, *el granizo*, *las trombas*, *las auroras polares*, *los ciclones* y los fenómenos producidos durante las *tempestades*.

Arago, en 1854, creia inexplicable el fenómeno del rayo globular, y le parecian los relámpagos esferoidales globos de fuego, que semejaban aglomeraciones de sustancias ponderables fuertemente impregnadas de la materia del rayo. Planté, en estos últimos años, buscando la

acumulacion y la trasformacion de la pila voltaica, llegó á encontrar una nueva fuente de electricidad, reuniendo á la vez la *cantidad* y la *tension*, y con tal motivo, pudiendo dar efectos diferentes á los de las máquinas ordinarias de electricidad estática.

El primer fenómeno que encontró, ayudado de esta poderosa fuente de electricidad, fué la *agregacion globular* por medio de un hilo electrizado, alrededor de un conductor que servia para producir la corriente. Aumentando la *tension* de esta fuente, ya no fué una bola líquida lo que se produjo, sino un verdadero *glóbulo de fuego*. Y de esta suerte llegó, por experiencias sucesivas, á explicar los fenómenos que acompañan la aparicion del rayo globular.

EL RAYO GLOBULAR.

I

Los aparatos empleados para las experiencias que permiten reproducir, por medio de corrientes eléctricas de alta tension, fenómenos análogos á los del rayo globular, han sido baterías secundarias, llamadas comunmente *acumuladores*, de láminas de plomo planas ó enrolladas en espiral, segun la intensidad de los efectos que se quieran obtener, estando sumergidas en agua acidulada con un décimo de ácido sulfúrico, pudiendo ser cargadas simultáneamente en *cantidad* y luego descargadas en *tension*.

Estas baterías, compuestas cada una de 80 pares, han sido colocadas sobre seis gradas, lo que forma un total de 480 pares. Se cargan por medio de tres elementos Becquerel–Daniell de sulfato de cobre y dos elementos de Grove–Bunsen de ácido nítrico.

En las experiencias llevadas á cabo con estas baterías, muchas veces se han puesto en accion de diez á veinte de ellas, ó sean 800 á 1,600 pares secundarios que, cargados con esta pequeña fuente de electricidad voltaica, pueden, en los primeros momentos de su descarga, producir una fuerza electro-motriz de 2,000 á 4,000 volts.

II

Para explicar por medio de experiencias la aparicion de los *glóbulos líquidos luminosos*, es preciso poner en comunicacion tres de las baterías que hemos mencionado, con un vaso lleno de agua salada, de tal manera, que un hilo de platina negativo, encontrándose sumergido de antemano en el líquido, se aproxime á otro hilo de platina positivo de la superficie del líquido, y entónces se verá formarse en la extremidad de este último un pequeño glóbulo luminoso, acompañado de un ruido especial.

Estos hilos de platina están unidos con los polos de la batería, de tal suerte, que se pueden introducir lentamente en el líquido.

Si se levanta un poco el hilo metálico, entónces el glóbulo aumenta de volúmen, como si el líquido estuviese aspirado por el electrodo, ad-

quiere un diámetro de cerca de un centímetro, toma un movimiento giratorio y se achata, semejando un esferoide. Este movimiento giratorio no tiene siempre la misma direccion como los movimientos giratorios magneto-eléctricos, de que nos ocuparémos más adelante. Es análogo á los de los torniquetes eléctricos, y debido al derrame del flujo eléctrico en el líquido.

Este movimiento se opera segun la posicion del punto de la superficie del glóbulo por el cual se hace el derrame principal de la corriente ó el desprendimiento del vapor producido; porque el glóbulo se haya desprendido, debido á su forma esferoidal, del líquido del voltámetro, ó porque tenga una pequeña superficie de contacto con dicho líquido.

El aspecto luminoso del glóbulo se cree que proviene de la luz emitida en su contacto con el resto del líquido; y el ruido es debido á la condensacion en el líquido, del vapor que tiende á formarse alrededor del electrodo.

Ahora, la segregacion del líquido bajo la forma globular, es, en nuestro concepto, un fenómeno de *aspiracion*, resultante del derrame de la corriente del flujo eléctrico en el polo positivo. Esta aspiracion es más marcada empleando una corriente de mayor tension y limitando el

espacio del líquido que rodea al electrodo. Pero como en el caso que apuntamos el líquido no tiene espacio limitado, se aglomera bajo la superficie más pequeña y toma la forma esferoidal. Por lo demas, los líquidos toman esta forma bajo la accion del calor, cuando están colocados sobre superficies incandescentes, y tambien la toman cuando están sustraidos á la accion de la pesantez.

Esta aspiracion que hemos señalado, es debida al efecto calorífico muy enérgico, producido por las corrientes de alta tension que desarrolla el vapor en los puntos tocados por el electrodo, con tal rapidez, que es preciso llenar inmediatamente el vacío que se hace.

III

Para obtener los *glóbulos de fuego* se requiere una fuente de electricidad superior á la empleada para producir los glóbulos luminosos. Se hace de diez baterías de 80 pares secundarios cada una, lo que da un total de 800 pares, y se añade en el circuito una columna de agua destilada, para impedir la fusion del electrodo. Haciendo sumergir de antemano el polo positivo en un vaso de agua destilada, en lugar de agua

salada, se forma, cerca de la aproximacion del polo negativo con la superficie del líquido, un *glóbulo de fuego* de ocho á diez milímetros de diámetro.

Un movimiento giratorio semejante al del glóbulo líquido luminoso, anima al glóbulo de fuego, y para rcconocerlo basta levantar un poco el electrodo; entónces el glóbulo toma una forma ovoide. En vez de presentar una placa luminosa, brillante y continua, la parte inferior del glóbulo que toca la superficie del líquido, presenta numerosos puntos azules luminosos, que constituyen el glóbulo de fuego. Estos puntos están animados tambien de un movimiento giratorio, análogo al de los glóbulos líquidos luminosos, el cual es debido á la misma causa; y su persistencia de accion sobre la retina hace que formen luego círculos azules luminosos concéntricos.

Estos glóbulos están constituidos por el aire rarificado incandescente, por el vapor del metal del electrodo, cuya extremidad tiene más alta temperatura, y por los elementos del vapor del agua descompuesta.

Por medio del análisis espectral se reconoce en ellos la presencia del hidrógeno, viniendo á justificarlo la luz azulada que se manifiesta en

el punto de contacto de los hilitos luminosos con el líquido.

La chispa de estos glóbulos afecta una forma globular ú ovoide, cuando el electrodo metálico es positivo y el agua destilada negativa, hallándose atravesada en el centro por un cono de luz violácea.

Empleando dos electrodos metálicos se obtiene un esferoide luminoso atravesado en su interior por una ráfaga luminosa, la cual corresponde á la ráfaga y á la aureola de las corrientes de induccion; sólo que en este caso la aureola ocupa mayor espacio, por ser mayor la cantidad de electricidad.

Para obtener el paso del flujo eléctrico no es indispensable, al hacer estas experiencias, colocar el electrodo en contacto con el agua. La sola tension de las baterías es suficiente para que la chispa brille aproximativamente á un milímetro sobre la parte superior del líquido, aun cuando los pares de las baterías no estén especialmente aislados.

Otra experiencia que se ha hecho para reconocer los movimientos del glóbulo de fuego en la oscuridad, consiste en suspender uno de los hilos del electrodo á una gran altura, y darle un peso suficiente para que pueda oscilar como

un péndulo sobre la superficie del líquido ó de una placa conductriz, sin que sea muy notable su distancia con esta superficie; entónces se verá al pequeño glóbulo de fuego, producido en la extremidad del hilo, seguir los movimientos del electrodo.

IV

Cuando la chispa eléctrica afecta la forma de un *glóbulo de fuego ambulante*, resulta de la accion de una gran cantidad de electricidad sobre la materia ponderable; puede estar animada por sí misma de un movimiento de progresion, sin que para obtenerlo sea necesario poner en juego ninguno de los dos electrodos. Esto se puede demostrar por medio de la experiencia siguiente:

Se ponen en comunicacion los dos polos de una batería secundaria de 800 pares con las armaduras de un condensador cuya lámina aisladora sea de mica. Este condensador se carga con una botella de Leyde, y al descargarlo puede producir una chispa como las de la electricidad estática. Si la lámina del condensador presenta algun punto muy débil ó alguna hendedura, se agujera espontáneamente en este punto, debido á la accion de la batería de los

800 pares secundarios, lo mismo que acontece con el cristal de una botella de Leyde cargada fuertemente por medio de una máquina eléctrica.

Durante esta experiencia se observa el siguiente fenómeno, bastante notable. A consecuencia del gran poder calorífico de la electricidad, de que se ha hecho uso en esta experiencia, la chispa que ha estallado sobre un punto del condensador, entre las dos armaduras, no tiene la duracion que las de la electricidad estática. Como la chispa está acompañada de la fusion del metal y de la materia aisladora del condensador, al estallar forma un globulito luminoso, muy brillante, que al ponerse en movimiento, produce un ruido especial y sobre la lámina de estaño del condensador traza un surco profundo, sinuoso é irregular, debido á una corriente eléctrica de alta tension. Esta chispa permanece algunas veces estacionaria alrededor del mismo punto, y otras, una de sus ramificaciones se extiende desmesuradamente, formando numerosos y variados contornos en la superficie. Con el fin de evitar la deflagracion del condensador, así como los efectos caloríficos muy intensos, se interpone, con anterioridad, un tubo de agua destilada en el circuito de la batería.

El camino que deberá seguir la chispa, no puede preverse, en tanto que el fenómeno se produce. La marcha del globulito deslumbrador es muy rara, y se ve que camina con lentitud, y que elige para detenerse, los puntos de la lámina aisladora, segun la resistencia que presentan.

Esta experiencia es muy difícil de ejecutar, por ser necesaria para ello una batería de 800 pares secundarios. Pero Ch. Moussette ha obtenido un resultado semejante, haciendo pasar el efluvio de una máquina de Holtz en la superficie de una placa fotográfica cubierta de una placa de gelatina conteniendo plata en polvo. Entónces ha visto globulitos de fuego desprendidos del efluvio, pasearse sobre la placa, y trazar surcos sinuosos, irregulares, semejantes á los de la experiencia anterior.

Con el fin de imitar mejor las condiciones en las cuales se produce el fenómeno natural, Planté ha aumentado, en sus experiencias, la fuente de electricidad dinámica, empleando una batería secundaria de 1,600 pares, cuya fuerza electro-motriz ha sido de poco ménos de 4,000 volts. en los primeros instantes de la descarga. Ha suprimido la lámina de mica y las armaduras metálicas, teniendo en cuenta que en la atmós-

fera no hay sino masas de aire y vapor de agua; y ha operado con superficies húmedas electrizadas, separadas por una capa de aire. Estas superficies estaban formadas por discos de papel, destinados á filtrar la humedad del agua destilada.

Desde el momento en que este sistema se pone en relacion con los polos de la batería, se ve aparecer una *bola de fuego* que corre de un lugar para otro entre las dos superficies, presentando intermitencias espontáneas durante algunos minutos, tanto en el momento de su aparicion, como en el de su desaparicion. Este *glóbulo de fuego ambulante*, como hemos visto, se produce entre dos discos ó tapones de papel humedecidos por una corriente eléctrica de alta tension. Esta experiencia dura más tiempo porque la batería tarda más en descargarse que entre las armaduras metálicas.

V

Por medio de los fenómenos que hemos explicado, nos parece fácil dar una idea exacta sobre el rayo globular.

Ya hemos visto que la materia ponderable tiende á tomar la forma globular cuando se la somete á la accion de una fuente poderosa de

electricidad dinámica. Y esta propiedad la hemos demostrado en los líquidos, la hemos observado en los glóbulos líquidos luminosos, y aumentando la tension hemos obtenido verdaderos glóbulos de fuego en el seno del aire, mezclado de vapor de agua.

Planté cree que *el rayo globular debe ser producido por un flujo de electricidad en el estado dinámico, en el cual la cantidad esté unida á la tension.*

El Dr. Sestier, por otra parte, ha observado que en las grandes tempestades, cuando la electricidad es muy abundante en la atmósfera y sus descargas pueden constituir una poderosa corriente eléctrica de alta tension, es cuando el rayo toma la forma globular. Sucede lo contrario en las pequeñas tempestades, donde el rayo toma la forma lineal.

VI

Los *globos fulminantes* deben tener el mismo orígen que las chispas globulares. Planté asegura que han de estar formados de *aire rarificado incandescente y de los gases que resultan de la descomposicion de agua, tanto en el estado de rarefaccion, como en el de incandescencia.*

En la extremidad de un mismo polo, el agua no sólo está vaporizada sino descompuesta, debido á la temperatura muy elevada que desarrolla una corriente eléctrica de alta tension.

Ya hemos visto que para la formacion de los glóbulos eléctricos luminosos, no es preciso una superficie acuosa, puesto que tambien se obtienen sobre una superficie metálica; pero la presencia del agua ó del vapor de agua facilita su formacion y aumenta su volúmen, debido á los gases que resultan de la desociacion del agua á una alta temperatura.

Tambien hemos observado, cuando toda la descarga estaba destinada á producir un solo fenómeno, la aparicion de llamas eléctricas en forma de esferas achatadas ó de casquetes esféricos que cubrian toda la superficie del pequeño vaso en el cual descargaba la corriente de alta tension. El diámetro de este vaso debe ser de 4 centímetros.

Todo esto nos viene á demostrar que el aire húmedo es favorable para la produccion de los globos fulminantes. Arago y otros muchos meteorologistas han observado su aparicion sobre un suelo inundado, despues de una fuerte lluvia, ó en una atmósfera saturada de humedad.

Esto no quiere decir que los globos fulminan-

tes contengan una mezcla detonante, formada por los gases desociados del vapor de agua, y que á esta causa se deba el ruido que acompaña su aparicion; porque estos gases están tan rarificados, que no podrian producir explosion, y además se hallan en el estado de incandescencia.

Los glóbulos fulminantes, en nuestro concepto, puede explicarse su formacion de la misma manera que la de los glóbulos de fuego. Ya hemos visto que la aglomeracion esférica de la materia sometida á la accion de un poderoso flujo eléctrico, es debida á la aspiracion ó al vacío producido por el paso mismo de la corriente. Estos globos son una especie de *huevo eléctrico*, sin cubierta de vidrio, que el medio ambiente tiende constantemente á llenar; pero el flujo eléctrico rarifica la materia, á medida que ella afluye en el medio electrizado.

VII

El resplandor de los globos fulminantes á veces es muy vivo, como lo ha observado Arago, y se debe á la gran cantidad de electricidad que desarrollan en el momento de aparecer.

La luz que produce el huevo eléctrico de los gabinetes de física, es muy débil, debido á que

la cantidad de electricidad de tension que las atraviesa es muy pequeña. Pero se observa que en las partes estrechas de los tubos de gases rarificados, la luz es más viva y el brillo ó resplandor aumenta á medida que la máquina eléctrica ó el aparato de induccion que se empleen, den mayor cantidad de electricidad.

Tambien hay que tener en cuenta, entre las causas de la vivacidad de la luz emitida por los glóbulos de fuego, la incandescencia de las partículas cósmicas de la atmósfera que añaden su brillo al del aire, así como los gases del vapor de agua rarificados é incandescentes.

Gaston Tissandier, en su libro «Los polvos del aire,» afirma que estas partículas cósmicas de la atmósfera, aparte de las materias orgánicas, contienen sustancias minerales como la sílice, el hierro, la cal, etc., las cuales están dotadas de un gran poder de irradiacion á una temperatura elevada. Tambien se ha podido observar que la incandescencia de la sílice, bajo la accion de la electricidad, produce efectos luminosos (luz electro-silícica).

VIII

Tanto el rayo ordinario como los globos de fuego están acompañados en su caida de un olor

especial, debido á la combustion de las partículas cósmicas y la de la materia misma herida directamente por la descarga en el lugar donde toca el suelo. Debe tenerse en cuenta que en la carrera seguida por un relámpago, ó en la travesía de una columna de aire por el flujo eléctrico, el número de partículas cósmicas que en ellas se encuentran, es muy grande para que pueda producir un olor especial por medio de la combustion. A este olor tambien contribuyen el ozono y los productos nitrosos formados por la combinacion de los elementos del aire.

En cuanto al olor sulfuroso, éste es debido á la descomposicion de las materias orgánicas ó minerales que se hallan en la superficie del suelo, las cuales contienen á veces azufre y sulfuros.

La aparicion de los globos fulminantes está acompañada de un ruido especial, debido á la vaporizacion rápida que acompaña al flujo eléctrico. Hay que tener presente que durante la descarga producida por el electrodo positivo sobre el agua destilada, se oye un ruido semejante á un soplido, el cual se debe á la vaporizacion del agua que se calienta bajo la accion de la flama que emana de este electrodo, más fuertemente que bajo la del electrodo negativo.

El signo eléctrico de los globos fulminantes debe ser *positivo*, en tanto que el de los fuegos de San Telmo, de los penachos, columnas luminosas, etc., producidos por influencia, debe ser *negativo*.

Sestier atribuye el movimiento giratorio de los globos fulminantes, á la reaccion debida al derrame del flujo. Y cree lo mismo respecto de los glóbulos líquidos y de los hilitos luminosos que componen las llamas ovoides formadas en la superficie del voltámetro.

IX

El rayo globular se presenta bajo dos formas distintas: sea bajo la de una simple caida de bolas de fuego, más ó ménos numerosas, que desaparecen inmediatamente, ó bajo la de un globo único que permanece visible durante largo tiempo.

En el primer caso, los globos de fuego deben tener por orígen *los relámpagos en forma de rosario*, de los que nos ocuparémos más adelante. Estos relámpagos son producidos por el derrame de cantidad mayor de electricidad que la de los relámpagos ordinarios, á la cual se debe la produccion de aglomeraciones esféricas de materia rarificada electrizada durante su travesía.

En el segundo caso, la marcha lenta de un globo fulminante puede producirse de dos modos.

Ya hemos visto que los glóbulos de fuego obtenido sobre el agua ó sobre una superficie conductriz cualquiera, por medio de una corriente eléctrica de alta tension, siguen los movimientos del electrodo en cuya extremidad se han producido. Ahora, si se experimentara en la oscuridad ó si se ocultara con un abanico el hilo que sirviera de electrodo y que oscilara como un péndulo, no se veria sino un glóbulo de fuego moviéndose sobre la superficie conductriz. Pues lo mismo acontece en la naturaleza. Si una nube tempestuosa, cargada de una gran cantidad de electricidad, viniera á pasar á una pequeña distancia del suelo, se formaria una *columna ó tromba de aire húmedo fuertemente electrizada, visible ó invisible, que serviria de electrodo*, y la cual produciria el derrame de la corriente eléctrica bajo la forma de un globo de fuego que apareceria en su extremidad. El globo de fuego debe seguir en este caso los movimientos de la columna, si ésta es esencialmente móvil.

La marcha lenta de los globos fulminantes puede producirse de otra manera.

Al tratar de la experiencia del *glóbulo eléctrico ambulante*, ya demostramos que una chispa globular puede moverse espontáneamente de un modo bastante lento. Basta, pues, determinar la produccion de una *chispa de electricidad dinámica de alta tension* entre las dos armaduras de un condensador cuya lámina aisladora sea muy delgada, para que pueda ser agujereado con facilidad, ó que presente de antemano alguna hendedura, para que la chispa, en lugar de tener una duracion instantánea, caminase quemando ante ella la materia del condensador y la fuese agregando bajo la forma de un glóbulo de fuego.

De esto resulta que lo mismo se puede admitir que sucede en la atmósfera, sobre el punto donde aparece el rayo globular, formando los elementos de un condensador, una capa ó columna de aire fuertemente electrizada que desempeña el papel de la armadura superior, el suelo, el de la armadura inferior y la capa de aire interpuesta entre ambos, el de la lámina aisladora. Ya Du Moncel, en 1857, habia admitido la intervencion de una banda de aire aisladora; y recientemente Hauvel, despues de una ascension que terminó por una tempestad, ha venido á confirmar estas apreciaciones.

Cuando la capa de aire aisladora se halla atravesada por el flujo eléctrico, el derrame de la corriente se produce bajo la forma globular entre el suelo y la columna ó capa húmeda electrizada que forma la armadura superior. Ahora, cuando la base de la columna es algo extensa, como sucede, si forma una porcion de la nube electrizada descendida cerca del suelo, el globo de fuego permanece en comunicacion con esta armadura, sin que ésta se cambie ó varíe de lugar, continúa sólo su marcha, atravesando la capa de aire aisladora, de una manera irregular, segun las variaciones de espesor ó resistencia que presenta, como ya lo demostramos al hablar del camino que sigue el pequeño glóbulo de fuego, entre las dos armaduras, sin variarlas de lugar, así como tampoco á los electrodos.

Arago, Sestier, Laussédat, Evrard y otros, citan varios casos de rayos globulares, que despues de haberse paseado lentamente sobre paredes ó muros, han salido por las chimeneas de las habitaciones que les ofrecian una via mejor conductriz.

A las comparaciones que hemos hecho, podria objetarse que los glóbulos de fuego naturales no se producen en la extremidad de los electrodos metálicos. Pero esta objecion se des-

vanece fácilmente si se tiene en cuenta que hoy se admite la identidad del rayo y las chispas de las máquinas eléctricas, aun cuando estas chispas parten de conductores metálicos; los conjuntos de vapor de agua que forman las nubes electrizadas, están considerados como conductores análogos. Se puede, pues, asimilar á un electrodo metálico que conduzca una corriente de alta tension, una columna de aire húmedo por la cual la electricidad de las nubes tempestuosas desciende á veces hasta cerca de la superficie del suelo.

X

Hay globos fulminantes que son producidos por *influencia*, y esto acontece cuando la nube tempestuosa no está bastante cercana del suelo, para que la electricidad se derrame directamente bajo la forma globular, y no obstante, ejerza una influencia extremadamente poderosa sobre algunos puntos del suelo, á consecuencia de la cantidad y de la electricidad que encierra.

En este caso se manifiesta por medio de penachos ó columnas luminosas, como sucede en los fuegos de San Telmo, etc., ó bajo la forma

de globos de fuego; y si el suelo está cubierto de una capa de aire más seco que el medio ambiente, y relativamente aisladora, estos globos pueden moverse lenta y caprichosamente como los glóbulos de fuego ambulantes.

Muchas veces se han visto globos fulminantes que parecen colocarse sobre los hilos telegráficos ó moverse á cierta distancia del suelo, como lo han observado Du Moncel y De l'Epée.

Al hablar del glóbulo de fuego ambulante explicamos que aumentando la tension de la fuente de electricidad dinámica, se podrian producir los efectos del rayo globular, operando sólo con superficies húmedas electrizadas, separados por una capa de aire, las cuales estaban constituidas por discos de papel para filtrar la humedad del agua destilada, y poniendo este sistema en relacion con los polos de la batería, se veia aparecer una bola de fuego que corria entre los discos y presentaba intermitencias espontáneas en su aparicion y desaparicion. Pues esta experiencia reproduce exactamente la apariencia de globos de fuego formados algunas veces en el seno de las nubes. Arago, Sestier y otros meteorologistas citan varios ejemplos de estos globos.

XI

Por lo que hemos expuesto se puede explicar por qué los globos fulminantes desaparecen algunas veces sin ruido y en otras acompañados del ruido del trueno.

El primer caso acontece, si el espesor de la capa de aire aislador que separa la capa nebulosa electrizada de la superficie del suelo se hace más grande, sobre el camino del globo fulminante, y cuando, por otra parte, la cantidad de electricidad suministrada por la nube tempestuosa no aumenta, el derrame eléctrico cesa, y la llama globular desaparece sin ruido, lo mismo que deja de aparecer el glóbulo de fuego producido en la superficie del condensador, cuando el espesor de la lámina aisladora se hace más grande.

Ahora, si la temperatura aumenta de intensidad ó la nube electrizada se aproxima más al suelo, entónces nuevas cantidades de electricidad afluyen á la superficie de la capa de aire aisladora, el derrame en lugar de seguirse verificando de una manera lenta y tranquila, bajo la forma globular, se opera bruscamente bajo la forma de una descarga, acompañado del ruido del trueno. En este momento es fácil suponer

que desde el mismo punto donde aparece el globo fulminante parten en todas direcciones saetas de rayo sinuosas ó en zig-zag que hieren los objetos cercanos.

Sin embargo, no creemos que el ruido sea debido á la explosion del globo fulminante; puesto que si tenemos en cuenta lo que sobre su naturaleza hemos dicho, no se puede admitir que una pequeña masa de aire rarificado y luminoso por el peso del flujo eléctrico, pueda estallar con el ruido del trueno y resolverse en rasgos fulminantes. Porque para nosotros, la fuente del fenómeno final se halla en el depósito mismo de la electricidad que encierra la nube tempestuosa y que se descarga en el punto donde el derramamiento habia comenzado bajo la forma de glóbulo de fuego.

Hay un caso especial en que el rayo globular se presenta bajo la forma de caida de globos de fuego que no aparecen sino un instante. En este caso, el ruido del trueno que acompaña á esta caida no debe ser atribuido á los mismos globos, sino al relámpago en forma de *rosario* del cual derivan, y del que constituyen cuentas ó bolas desprendidas.

Bueno es advertir que la intensidad excepcional del trueno que se observa en los casos de

caida del rayo globular, se explica por la *cantidad* de electricidad puesta en juego, la cual es mayor que en los demas casos. Ahora, el volúmen del flujo eléctrico, permítasenos esta frase, es decir, la masa de materia ponderable atravesada y rarificada por la descarga, se hace más grande, y entónces el vacío producido es mayor.

Pero se preguntará: ¿Cómo puede la electricidad producir el vacío? Por la accion calorífica, poderosa é instantánea que desarrolla la electricidad y que vaporiza toda materia que encuentra á su paso. Ya en nuestras experiencias anteriores hemos demostrado que los fenómenos ígneos de que nos hemos ocupado, son resultado de la vaporizacion producida sobre los líquidos ó las superficies húmedas por un flujo eléctrico que reuna á la vez la cantidad y la tension.

XII

En los casos de rayo globular, los pararayos comunes han sido ineficaces, y esto se explica porque la aparicion de ese globo fulminante revela un principio de derrame abundante y continuo de electricidad de la nube tempestuosa en un *punto de eleccion* particular, y porque la simple accion de *influencia* ejercida por la

cercanía de un pararayo, no podia detener este derrame una vez determinado.

En el caso de tromba ó rayo globular producido, hay una especie de *electrodo nebuloso* constituido, es decir, una via seguida por el derramamiento de la lluvia ó del rayo, el cual no puede ser desviado por la cercanía de un electrodo como el pararayo que sólo obra por influencia sobre nubes electrizadas, de una gran extension, colocadas directamente encima. Por esto es que al tratarse del glóbulo eléctrico ambulante, hemos visto que la aproximacion de una punta no modifica la marcha del fenómeno, de lo que resulta que el derrame eléctrico está bastante unido al electrodo, para poder ser influenciado ó desviado.

Hay que cuidarse mucho de los efectos de los globos fulminantes de movimientos lentos, pues aunque no hayan causado mal á las personas que los han observado, y alrededor de las cuales parece que han hecho un paseo, son muy peligrosos, puesto que representan, sea la extremidad de un electrodo nebuloso, sea el punto de eleccion donde la electricidad ejerce su mayor influencia, y anuncian una tendencia á una descarga inminente, tanto más destructora, cuanto que hay una mayor *cantidad* de electricidad en juego.

Es casi imposible, por medio del pararayo, prevenir la formacion de ese punto particular de derrame de un flujo abundante de electricidad, aun cuando se multiplicasen las direcciones de este aparato. Lo más conveniente en el caso del rayo globular es hacer uso de los pararayos de puntas múltiples de Melsens.

XIII

Por las experiencias que hemos descrito, pueden explicarse los diversos efectos del rayo globular y del trueno en bola, sobre todo por las del glóbulo de fuego ambulante.

Planté considera al rayo globular cuando se manifiesta bajo la forma de un globo de fuego que camina lentamente sobre la superficie del suelo, como *una* descarga lenta y parcial, sea directa, sea por influencia de la electricidad de las nubes tempestuosas, cuando esta electricidad es en cantidad excepcionalmente abundante, y cuando la misma nube ó la columna de aire electrizado que forman, por decirlo así, el electrodo, se encuentran muy cercanas al suelo, ó no se hallan separadas sino por una capa de aire aisladora de pequeño espesor.

Respecto de la marcha lenta y caprichosa de los globos fulminantes, ésta se produce lo mis-

mo que la de los glóbulos de fuego eléctricos, de que ya hemos hablado, por las variaciones de resistencia de la capa de aire que las separa del suelo y por la tendencia natural del flujo eléctrico á buscar la línea de menor resistencia, para su derrame hácia la tierra.

Por lo que hemos explicado, se convendrá en que es fácil darse cuenta de los fenómenos del rayo globular, que ántes eran un misterio insondable, porque no se tenia otro término de comparacion que las máquinas de frotamiento ó influencia, en las cuales la cantidad de electricidad no es suficiente para reproducir fenómenos análogos á los del rayo globular. No sucede lo mismo hoy dia que se emplea una fuente de electricidad dinámica que reune á la vez la *cantidad* y la *tension*.

Respecto de los relámpagos en forma de *rosario*, han sido observados por varios meteorologistas, entre los que citarémos á Planté que los observó en Paris, desde las alturas de Meudon, durante la tempestad del 18 de Agosto de 1876. Hé aquí lo que dice sobre el particular:

«La tempestad se declaró á las seis de la mañana en las cercanías de Paris. Una vasta nube oscureció el cielo y dió orígen á una serie de relámpagos de gran longitud y de formas

muy variadas: algunos estaban bifurcados, otros presentaban curvas de puntos múltiples ó de contornos cerrados. Uno de ellos, replegado sobre sí mismo, presentó una forma exactamente semejante á la de la curva conocida bajo el nombre de *folium* de Descartes.

«Estos relámpagos parecian, en general, estar compuéstos de *puntos brillantes* semejantes á los surcos de fuego producidos sobre una superficie humedecida por una corriente eléctrica de alta tension.

«A eso de las siete de la mañana, hora en que la tempestad comenzaba á extenderse sobre Paris, un relámpago, notable entre todos, se lanzó hácia el suelo, describiendo una curva semejante á una S alargada, y pareció visible un instante apreciable, formando un rosario de *cuentas ó granos brillantes*, diseminadas á lo largo de un hilo luminoso muy estrecho.»

Tambien Du Moncel observó en Lóndres esta clase de relámpagos en la noche del 19 al 20 de Junio de 1857, y decia que habia observado muchos relámpagos «que persistian durante algunos instantes, y no desaparecian sino despues de haberse como fundido en *luz granular*.»

Podriamos tambien citar las observaciones de Renon en Francia, de R. P. Van Tricht en

Vanne (Bélgica), de Dagwin en Tolosa y Bayona, de M. R. Coulon en Ruan, de Jacquez en Paris, de Joule en Southport (Inglaterra), y de E. J. Laurence en Lóndres, quien dice lo siguiente: *

«He podido confirmar el hecho de que los relámpagos pueden presentar algunas veces la forma *puntuada.* Hace cuarenta años, durante una tempestad acompañada de una lluvia abundante, de la cual fuí testigo en Ampton (Suffolk), los relámpagos se sucedian de una manera incesante durante media hora, y me acuerdo que el cuarto de ellos presentó esta apariencia excepcional. Desde entónces he tratado de encontrarla; pero no la he observado más que una sola vez, y no ha sido sino un relámpago de esta especie entre un gran número. En una y otra ocasion los relámpagos *puntuados* eran de un brillo deslumbrador y presentaban la forma de curvas sinuosas sin ángulos salientes; uno de ellos, entre los demas, presentó la forma de un ocho casi perfecto.

«En 16 de Agosto de 1887, segun dice *The Electrician* de Lóndres, á eso de las ocho y me-

* Nature, London vol. XVIII, pág. 278, 11 de Julio de 1878. *Forma notable del relámpago,* por E. J. Laurence.

dia de la noche, fué observado un relámpago notable en el vecindario del cuartel de Lambeht de Westminster, bajo la forma de un dardo estrecho y hendido que repentinamente quedó dividido en millares de bolas de fuego, como un cohete de fuegos artificiales.»

De todas las observaciones de los meteorologistas europeos resulta que es una realidad la existencia de relámpagos en forma de *rosario* ó simplemente *punteados* [cuando son vistos desde una gran distancia], lo cual establece una nueva clase de relámpagos.

Seria de desearse que los que los observan, anotasen si han sido seguidos de la salida del rayo bajo la forma globular.

EL GRANIZO.

I

Vamos á ocuparnos de los fenómenos producidos por las corrientes eléctricas de alta tension, que presentan analogías con los que acompañan á la produccion del granizo.

Cuando se sumerge de antemano el electrodo negativo de una batería de 400 pares secundarios en un vaso con agua salada, y se hace pasar el electrodo positivo por la superficie del líquido, se produce una *gavilla* de innumerables glóbulos ovoides que se suceden con una rapidez extraordinaria, los cuales son proyectados á más de un metro de distancia del vaso donde se verifica la experiencia. La gavilla es una especie de *pulverizacion* del agua en gotitas de

cierto tamaño, producidas por la descarga eléctrica.

En este caso, la chispa aparece en la superficie del líquido bajo la forma de aureola ó corona de donde brotaron los glóbulos acuosos.

No es precisa la metalidad del electrodo, para obtener este efecto. Puede obtenerse con un pedazo de papel para filtrar, humedecido con agua salada, que esté en comunicacion con el polo positivo.

Cuando esta experiencia de la *gavilla* puede producirse con una tension más elevada en un cerco de temperatura muy baja, sobre agua comun, entónces las gotitas proyectadas se solidifican, y se obtiene una completa reproduccion artificial del fenómeno natural.

Esta experiencia es muy difícil de realizarse, porque es muy grande el volúmen que seria preciso dar al cerco enfriado; pero se puede obtener operando en la temperatura ordinaria, y tomando una solucion salina concentrada [nitrato de potasa], calentada cerca del punto de ebullicion, de manera que las gotitas proyectadas por la descarga eléctrica puedan solidificarse violentamente por medio del resfriamiento en la temperatura ambiente.

Si la corriente eléctrica se lleva á la superfi-

cie de esta solucion contenida en un vaso que esté colocado sobre un sosten, á dos metros del suelo, para que pueda tener una cierta altura de caida y dar á las gotitas el tiempo necesario para solidificarse; entónces se produce la gavilla, y se obtiene por la via eléctrica un granizo artificial de nitrato de potasa.

II

Cuando la corriente eléctrica en vez de encontrar una capa profunda de líquido, no halla sino una superficie húmeda, tal como las paredes mismas ó el fondo inclinado de la cubeta, los efectos caloríficos predominan, la aureola es más brillante y el agua se trasforma rápidamente en vapor.

Como se ve, la accion de la corriente varia, segun la resistencia que se le opone. Esto presenta un ejemplo nuevo de sustitucion recíproca del calor y del trabajo mecánico resultante del choque. Cuando el trabajo representado por la proyeccion violenta del líquido aparece y no hay calor ni vapor desarrollado, y no se ha operado ningun trabajo visible, cuando el líquido no se ha proyectado, entónces hay calor engendrado y desprendimiento de vapor.

La formacion de estos surcos luminosos acompañados de chorros de vapor, es *intermitente*. En efecto, siempre que el electrodo en contacto con la superficie húmeda ha vaporizado las gotitas de agua que lo rodean, la corriente queda por un instante interrumpida; pero una nueva porcion de la masa líquida que humedecia esta superficie, afluye luego, el fenómeno comienza de nuevo, produciéndose así de una manera intermitente, hasta el agotamiento de la descarga eléctrica.

III

Por medio de los efectos mecánicos y caloríficos producidos sobre masas acuosas ó superficies húmedas, por las descargas de electricidad dinámica de alta tension, se puede explicar el modo de formacion del granizo.

El fenómeno de la *gavilla de glóbulos acuosos* que brota, cuando una poderosa corriente eléctrica viene á tocar la superficie de un líquido, demuestra que un efecto análogo puede producirse cuando una nube ó una corriente aérea electrizada penetra en otra masa nebulosa en el estado natural ó al ménos fuertemente electrizada.

Como se sabe, las nubes no son propiamente masas líquidas; pero las de las regiones elevadas están compuestas de cristales de hielo muy finos y muy ligeros, cuya cohesion es menor que la del hielo ordinario, y que pueden ser considerados como equivaliendo casi á una masa líquida suspendida en la atmósfera. Se concibe, pues, que las descargas eléctricas puedan producir allí un efecto análogo al que producen sobre un líquido, y que el agua de estos cristales de hielo liquidificada y pulverizada sobre los puntos donde estallan las descargas, sea lanzada en gavilla de glóbulos, como en la experiencia que hemos descrito anteriormente.

Por otra parte, en razon de la baja temperatura del conjunto de la misma nube ó de las regiones elevadas en las cuales el fenómeno se produce, estos glóbulos pueden congelarse instantáneamente y dar nacimiento á los pedriscos.

Tambien la experiencia del granizo artificial de glóbulos liquidos salinos, de que ya hablamos, demuestra la posibilidad de este efecto.

Segun la mayor ó menor agregacion ó densidad de estas nubes, y segun la cantidad de electricidad en juego, los efectos caloríficos ó mecánicos producidos por el flujo eléctrico pueden alternar, mezclarse ó sustituirse los unos á los

otros, ó como ya se ha visto, en las experiencias descritas, el flujo eléctrico segun que encuentre una masa acuosa ó una superficie sencillamente húmeda, determinar, sea un efecto mecánico tal como la proyeccion del agua en el estado líquida, sea un efecto calorífico, traducido por una abundante produccion de vapor.

Si los efectos caloríficos dominan en la accion de una corriente electrizada en el seno de una masa nebulosa, el agua no sólo se pulveriza, sino que se vaporiza tambien por el flujo eléctrico, y este vapor, inmediatamente condensado en gotitas líquidas, en el seno de la nube fria, puede en este caso, dar nacimiento á pedriscos.

A primera vista no es fácil creer que una materia tan dividida como el vapor de agua, pueda producir pedriscos infinitamente pequeños. Pero es preciso tener en cuenta que ántes de la congelacion, el vapor pasa necesariamente por la liquefaccion, y que si ésta se produce bruscamente y en abundancia, puede condensarse rápidamente en gotas de determinado volúmen contra las porciones frias de la nube, lo mismo que se condensa en gotitas contra la superficie interna de la cobertera de un vaso lleno de agua en el estado de ebullicion.

De todo lo que hemos dicho se puede concluir

que el granizo puede considerarse como *resultante de la congelacion, en las altas y frias regiones de la atmósfera, del agua de las nubes pulverizada y vaporizada por las descargas eléctricas.*

IV

Durante las tempestades acompañadas de granizo, es muy notable la intensidad de los fenómenos eléctricos que en ellas se presentan, puesto que los relámpagos se suceden de una manera incesante y forman como la descarga continua de una corriente de alta tension, lo que demuestra el papel importante que deben desempeñar los efectos mecánicos y caloríficos de que se trata en la produccion del granizo.

En varias tempestades que han tenido lugar en Francia y Suiza, algunos como Calladon, Capiau, Planté y otros han contado 8 á 10,000 relámpagos por hora.

Como se ve, es fácil suponer la enorme cantidad de calor y de vapor de agua que puede producir un torrente semejante de electricidad, cuando se considera la cantidad de calor que se desprende en las experiencias ya citadas.

No es posible dar una idea de cómo se produce la vaporizacion del agua por medio de las

corrientes de alta tension, cuando no se han visto personalmente estas experiencias. Las gruesas gotas de vapor condensado se forman en un instante, y no como sucede cuando sólo obra el calor, que se van formando poco á poco. Lo mismo acontece con las gotas gruesas de la lluvia de tempestad, que son producidas por una vaporizacion abundante, que resulta del paso de un flujo eléctrico.

No existe otra diferencia entre una nube de gruesas gotas de lluvia y una de granizo, sino que la primera se produce en una region relativamente baja de la atmósfera, y la segunda en otra region más elevada, y por consecuencia más fria. La electricidad obra, sea por su accion calorífica, vaporizando el agua que se encuentra en la nube, suspendida en el estado vesicular, sea pulverizándola de modo que se agregue en gotas líquidas ó solidificadas que puedan caer sobre la tierra.

Se comprende que es preciso que haya en la atmósfera una gran cantidad de agua en suspension, para que las descargas eléctricas puedan producir allí la pulverizacion que se obtiene en las experiències descritas, por la accion de las descargas de las corrientes de alta tension sobre el agua en estado líquido.

Puede observarse que las nubes de granizo grande son extremadamente densas y opacas hasta el punto de oscurecer completamente el cielo, lo que se explica por la inmensa cantidad de agua que contienen.

V

Los movimientos violentos que se producen en el centro de las nubes de granizo, así como la trasformacion rápida de los cirrus en nimbus, se explican por la accion calorífica de las descargas eléctricas, puesto que los nimbus aparecidos súbitamente no pueden provenir sino de la pronta vaporacion y del agua condensada de una parte de los cirrus.

Respecto á las desgarraduras multiplicadas de las nubes de granizo, así como á las recortaduras que presentan en sus diversas formas, deben provenir del efecto de las descargas eléctricas, si se tiene en cuenta los efectos que producen las corrientes de alta tension sobre las materias húmedas.

A las tempestades de granizo acompaña un viento violento que debe atribuirse á la rarefaccion que produce la corriente electrizada vaporizando bruscamente las masas húmedas que

encuentra á su paso y al aflujo del aire cercano que viene á llenar instantáneamente el vacío formado.

La caida del granizo está acompañada y precedida de un ruido muy fuerte, el cual se debe á la penetracion del flujo eléctrico en la nube y á la pulverizacion ó vaporizacion que resulta: lo mismo que el ruido producido por el paso de una corriente de alta tension, en un líquido ó sobre una superficie húmeda, se debe á la proyeccion en gavilla de los glóbulos acuosos ó á la ensision rápida de los chorros de vapor.

Débense los relámpagos, con ó sin trueno, que acompañan á las tempestades de granizo, á que en la colision entre dos masas húmedas y de una gran movilidad de formas, ya es una la que penetra más ó ménos profundamente en la otra, como acontece en la accion de una corriente de alta tension en la superficie de un líquido, que el derrame se produce bajo la forma de surcos luminosos acompañados de un simple ruido, cuando el líquido se ha hecho fuertemente negativo por un electrodo completamente sumergido, miéntras que las chispas estrepitosas se producen, si el líquido, al contrario, siendo fuertemente positivo, la descarga tiene lugar sobre el electrodo negativo.

VI

Por analogías semejantes puede explicarse por qué debiendo su orígen el granizo á la electricidad, puede producirse sin manifestaciones eléctricas aparentes.

Ya hemos visto cómo se puede producir vapor sin fenómenos luminosos, siempre que sea muy pequeña la cantidad de electricidad suministrada por las corrientes de alta tension. Pues lo mismo puede acontecer, y acontece en la atmósfera, que hay produccion de vapor y congelacion en las regiones frias, bajo forma de granizo pequeño, sin relámpagos visibles, ni ruido perceptible de truenos cuando la cantidad de electricidad en juego es muy corta.

Es fácil demostrar lo que asentamos, si se tiene en cuenta que un hilo metálico atravesado por una corriente eléctrica, puede calentarse, sin llegar á la incandescencia, y lo mismo sucede con un flujo eléctrico, que puede producir efectos caloríficos sin fenómenos luminosos. Es frecuente tambien encontrar ardidos los carretes telegráficos, sin que se pueda descubrir como orígen de este fenómeno, sino perturbaciones magnéticas.

VII

Las caidas de granizo generalmente son de corta duracion, debido al poco tiempo que duran las descargas eléctricas y al viento que arrebata rápidamente á otros lugares á la nube tempestuosa.

Muchas veces sucede que el granizo cae en bandas tan estrechas que en un lugar cualquiera hay partes de él donde deja huellas, y en otros ni siquiera se tiene cuenta de ello; esto se puede atribuir á la vaporizacion y congelacion del agua, alrededor de los surcos trazados por los relámpagos, cuyo desarrollo es siempre mayor en longitud que en latitud.

Pero hay otro fenómeno que se observa con el granizo, y es que á veces se ve cubierta una region dada por bandas de granizo, las cuales resultan de que el viento que acompaña á las nubes tempestuosas las lleva consigo, correspondiendo la longitud de la banda á la distancia recorrida por las nubes, y la latitud al grupo de ellas.

Entre las bandas de granizo suelen alternar bandas de lluvia, las cuales resultan á menudo de que recalentada por la frecuencia de los re-

lámpagos la masa interna de las nubes frias en las cuales se operan las descargas, el agua vaporizada ó pulverizada se condensa en la parte central bajo forma de lluvia, y en las partes laterales se opera la congelacion, pudiendo continuar sobre todo el trascurso de la nube.

Se cree que lo mismo que se verifica cuando una corriente eléctrica se derrama sobre una superficie húmeda, pasa respecto de las intermitencias ó recrudescencias que se obervan, sea en la caida del granizo ó en los golpes de viento que la acompañan. Porque cuando la nube electrizada reduce á vapor una parte del cirrus en que penetra, no encuentra nueva masa que vaporizar, sino despues de un momento, y entónces el cirrus llena el vacío formado, se produce una nueva descarga y se forman nuevos pedriscos debido á la proyección de vapor ó de agua pulverizada.

VIII

Debido á la electricidad presentan los pedriscos sus asperezas ó protuberancias. Ya hemos visto al tratar de la experiencia de la *gavilla*, que los glóbulos tienen tambien una forma ovoide y que presenta la chispa de donde brotan la apariencia de una corona de flama. Cuando la co-

rriente obra sobre una pasta húmeda que conserva la forma resultante de la accion que ha sufrido, tambien se descubren los signos característicos del paso del flujo eléctrico en los cráteres cubiertos de protuberancias de puntos múltiples.

Tambien es debido el fulgor de los pedriscos á la electricidad. Aun cuando no es posible demostrar experimentalmente si el fulgor ó resplandor de los glóbulos es propio de ellos ó debido á la reflexion de la chispa, sí puede creerse que el flujo eléctrico les comunique una pequeña fosforescencia, dado que se puede volver incandescente el aire húmedo con una tension mayor.

Por lo que respecta á la estructura de los pedriscos, ésta es muy variada. Unos presentan una estructura radiosa que parte del centro, y parece que han sido formados de un sólo golpe; otros tienen un núcleo blanco, opaco, cubierto de capas de hielo alternativamente opacas y trasparentes.

Los primeros pueden formarse por medio del vapor de agua producido bajo la accion calorífica de las descargas, condensada en gotas gruesas y congelada en el circuito de la nube de baja temperatura, ó bien por la produccion de una

gavilla eléctrica de glóbulos acuosos, inmediatamente congelados bajo el mismo volúmen que tienen en el momento donde son proyectados. Así lo asegura Gaston Planté.

Ya hemos demostrado, en las experiencias que hemos descrito, que miéntras mayor sea la cantidad de electridad suministrada por la corriente de tension, más voluminosos serán los glóbulos proyectados; pues lo mismo acontece en la naturaleza. Si las tempestades acompañadas de la caida de pedriscos tienen manifestaciones eléctricas de gran intensidad, entónces los pedriscos serán más voluminosos que en los demas casos:

Plantamour, al hablar de las tempestades de Suiza; asegura que los pedriscos caidos durante algunas de ellas, alcanzaban el tamaño de una nuez, de un huevo de paloma y á veces el de un huevo de gallina. Dice que un viento fuerte del Oeste los trasformaba en verdaderos proyectiles que destrozaban cuanto hallaban á su paso; y á la hora de la caida era tal el número de relámpagos por segundo, que difícilmente se hubieran podido contar, presentándose el cielo encapotado y sombrío.

Respecto á la estructura de los pedriscos formados de capas alternativamente trasparentes

y opacas, crécse que demuestran un desarrollo sucesivo en el seno de las nubes, atribuyéndose este aumento de volúmen á las siguientes causas: Segun Volta es debido á un movimiento oscilatorio de los pedriscos, siempre que la disposicion de los grupos nebulosos se preste á ello; segun el abate Raillard, se puede atribuir á su misma caida á través de un gran espesor de nubes. Pero Secchi, Saigey, Faye, Daguin, etc., la atribuyen á su giracion prolongada bajo la influencia de los torbellinos que acompañan generalmente á las tempestades de granizo.

Estos torbellinos, que han sido observados por Buchnalder, Lecoq, Tastes, Severtzow y otros, pueden sostener los pedriscos en las nubes, durante cierto tiempo, y por consecuencia aumentar el volúmen de ellos.

Respecto de la formacion de las capas alternativas trasparentes y opacas, Planté las atribuye á vaporizaciones y congelaciones sucesivas, unidas al movimiento giratorio. Esto es fácil de demostrar si se tiene en cuenta que la opaquedad del núcleo nevoso que forma estos pedriscos, atestigua desde luego la congelacion súbita del vapor de agua; puesto que el carácter esencial de las cristalizaciones rápidas es formar cristales embrollados trasparentes. Ya

formado este núcleo se verifica la giracion en el seno húmedo de la nube, lo cual produce una capa de hielo formada lentamente, y por consecuencia trasparente. Despues tiene lugar otra emision de vapor á consecuencia de una descarga eléctrica, y al mismo tiempo se producen nuevos pedriscos, pudiendo cubrirse entónces los que ántes giraban de una segunda capa de vapor que se congela bruscamente en el estado nevoso, y repitiéndose de nuevo estos fenómenos, fórmanse sucesivamente nuevos pedriscos de capas alternativas opacas y trasparentes.

IX

Los torbellinos de granizo, se deben atribuir á la accion magnética del globo, como procurarémos demostrarlo al tratar en el capítulo refeferente á las trombas y ciclones, de la experiencia de las *espirales electro-dinámicas.*

Para que se presente el granizo, es necesario que haya en las nubes grandes cantidades de electricidad, cuyas descargas constituyen verdaderas corrientes eléctricas de corta duracion ó intermitentes, pero con todos los caracteres de un flujo poderoso de electricidad dinámica. Como las corrientes eléctricas pueden variar bajo la influencia de una accion magnética, y

cuando atraviesan conductores más móviles, con mayor rapidez; cuando radían en todos sentidos en el seno de un líquido, como en la experiencia de las espirales electro-dinámicas, se efectúa en espiral, con una rapidez vertiginosa, el movimiento giratorio producido bajo la influencia de un imán, y que un torbellino de polvo semi metálico desprendido del electrodo, lo hace visible.

Sentado esto, hay que admitir que bajo la influencia del magnetismo terrestre, las columnas de aire, nebulosas ó húmedas, fuertemente electrizadas y móviles en cualquier sentido, tienen que tomar un movimiento rápido giratorio en espiral, y al granizo que acompaña las descargas, arrebatarle en torbellinos.

X

Para terminar el presente capítulo relativo al granizo, dirémos que la *electricidad* es, como afirman casi todos los meteorologistas modernos, entre ellos Maury y Planté, *la causa eficiente que por su presencia misma en las nubes y por el poder instantáneo de sus descargas, determina la formacion súbita y la caida del meteoro.*

Como causas concurrentes deben admitirse los vientos y las corrientes de aire; puesto que

obran á su paso sobre las masas nebulosas electrizadas, ya arrastrándolas consigo, ya separando, ya uniendo á las que están más cargadas de electricidad con las que no lo están; ya elevándolas á las regiones frias de la atmósfera, ó procurando alrededor de ellas la depresion de temperatura precisa para la congelacion; ya dirigiéndolas hácia aquellos lugares de la tierra en los que el granizo aparece con más frecuencia. Pero la electricidad interviene en la produccion del granizo por sus efectos mecánicos, caloríficos y magneto-dinámicos.

LAS TROMBAS Y LOS CICLONES.

I

Vamos á dar una ligera idea acerca de las experiencias que se han hecho por los principales meteorologistas europeos, para reproducir por medio de las corrientes eléctricas de alta tension, efectos análogos á los de las trombas y los ciclones.

En primer lugar, describirémos la experiencia de la vena líquida electrizada. Ésta consiste en hacer derramar la vena de agua salada de un embudo que comunique con el polo positivo de una batería de 400 pares secundarios en una cubeta donde de antemano se halle sumergido el hilo negativo, y debajo de ella esté colocado un electro–imán. Luego que el circuito voltaico queda cerrado, se descubre un hilillo lumi-

noso que presenta algunos puntos brillantes en la parte inferior de la vena; brotan chipas con ruido en su extremidad, se desprende cierta cantidad de vapor de agua y el líquido que rodea la parte baja de la vena toma un movimiento giratorio, *el cual*, segun Planté, *es en sentido inverso del de las agujas de un reloj, si el polo del electro-imán es boreal, y en el mismo sentido, si el polo es austral.*

Los signos eléctricos y luminosos desaparecen casi por completo, si se acorta la vena, á fin de impedir toda solucion de continuidad en su parte inferior; y entónces el líquido se calienta, como lo demuestra un ligero vapor que aparece, y el movimiento giratorio es más rápido y más marcado. Cuando se vuelve á alargar la vena, reaparecen de nuevo los signos eléctricos y luminosos.

Si se apoya el electrodo positivo contra las paredes del vaso de agua salada que comunica con el polo negativo, se observa un violento remolino del líquido que forma una especie de *mascarilla* eléctrica ó montículo, producido por una corriente eléctrica de alta tension, que eleva el agua á 15 milímetros de su nivel; además de los surcos luminosos y de los chorros abundantes de vapor.

Cuando el flujo eléctrico encuentra á su paso en ciertos puntos desigualdades de resistencia, entónces da lugar á dos ó tres montículos acuosos ú olas que se presentan en la superficie del líquido.

Débese este fenómeno á un efecto calorífico originado por la corriente sobre la superficie húmeda que halla á su paso; porque el líquido es rechazado por la presion del vapor, la cual se desarrolla bruscamente en un punto determinado por el paso de la corriente.

A este efecto calorífico puede unirse el del viento ó soplo que produce la influencia de un derrame abundante de electricidad estática; y en este caso, si la tension es mayor, será menor la cantidad de electricidad, y como un flujo de electricidad estática no puede producir un efecto semejante sino sobre el aire, no podria respecto de una masa líquida obrar de la misma manera.

II

Ocupémonos ahora de la *bomba voltaica.* El flujo eléctrico puede producir notables efectos de aspiracion.

Cuando en un tubo capilar se introduce el hilo positivo, procurando que quede un inter-

valo libre de 5 milímetros en su extremidad, luego que el tubo electrodo se sumerge en la cubeta de agua salada, el líquido se eleva con mucha rapidez á una altura de 25 á 30 centímetros, para descender en forma de manto surcado de rasgos brillantes y chorros de vapor. Así es como se forma la *bomba voltaica*, en la que se hace el vacío, debido á la produccion y condensacion del vapor, alrededor del electrodo.

El líquido asciende en este caso con tanta rapidez que á pesar de lo exiguo del canal, luego que la parte inferior toca el líquido, se descubre una gotita luminosa en la extremidad superior del tubo.

Más adelante describirémos la *máquina reostática* de cantidad, cuya corriente produce estos efectos de ascension de un modo aun más notable que los que origina la corriente de tension directa de la batería secundaria.

El *ariete hidro-eléctrico* ó sea el chorro de agua producido por las chispas de la máquina reostática, dispuesta en cantidad, se obtiene colocando los electrodos en las condiciones del fenómeno anterior, y entónces el agua se eleva en el tubo por movimientos bruscos, sin que sea tan marcado el desarrollo de la accion calorifi-

ca, y el *ariete* que resulta debe sus efectos á una accion mecánica de la electricidad.

Este *ariete ó chorro de agua eléctrico* se produce empleando siempre la corriente de cantidad suministrada por la bomba voltaica, cuando se acorta el tubo capilar por el cual la corriente desemboca en el líquido, de modo de reducirlo á 2 ó 3 centímetros de longitud, y de limitar en un espacio pequeño la cantidad de materia sometida á la accion de la corriente. El *chorro de vapor* que se produce queda formado por pequeñísimas gotas de vapor que se elevan á más de un metro de altura.

Muchas veces la cubeta de vidrio en la que se hace la experiencia, se rompe, debido á que las chispas que pasan por el tubo inmergido en el líquido, están acompañadas de choques violentos y de un ruido muy fuerte, lo que hace que al pulverizarse el agua se haga turbia y que con tal motivo la fuerza mecánica sea muy considerable y determine la ruptura del vaso.

Además de los fenómenos de aspiracion producidos por la corriente eléctrica que hemos descrito, se producen otros, que pueden llamarse conos líquidos á causa de su forma, los cuales están acompañados de chorros de vapor, y se forman en la extremidad de un electrodo de

papel húmedo ó de un pincel húmedo de amianto, por una corriente eléctrica de alta tension.

Para producir los conos líquidos hay que emplear una tension más elevada que en las experiencias anteriores, sea la de 800 pares secundarios, y aproximar el electrodo de la superficie del agua destilada, para que el líquido se levante en forma de cono, ántes que la chispa estalle.

Este fenómeno no se nota mucho haciendo uso de la electricidad estática, pero se observa mejor sobre el aceite que sobre el agua, con esta clase de electricidad; se nota más en este caso, debido á la mayor cantidad de electricidad puesta en juego. Peltier fué el primero que lo observó.

Ahora cuando con un pincel húmedo de amianto ó de papel de filtrar, se forma un electrodo, se produce alrededor del pequeño cono acuoso que queda suspendido en la extremidad del electrodo durante el paso de la corriente, una corona de vapores, debida á que la corriente á su paso por el líquido, desarrolla un efecto calorífico.

III

Para terminar lo relativo á las experiencias que por medio de las corrientes eléctricas de

alta tension, reproducen fenómenos análogos á los de las trombas y los ciclones, describirémos la experiencia que da lugar á las *espirales electro-dinámicas.*

Desde luego dirémos que esta experiencia no exige una tension eléctrica tan grande como las anteriores. Basta para realizarla una batería secundaria de 10 á 20 pares, ó una pila de 15 á 20 elementos de Bunsen.

En este caso, el electrodo positivo ha de ser un hilo de cobre y el líquido del voltámetro, agua acidulada, con una décima parte de ácido sulfúrico.

Cuando se emplea la accion de una corriente de pequeña tension en las condiciones comunes de la electrólisis del agua con este voltámetro, el hilo positivo se cubre de una capa de óxido que se disuelve poco á poco en el líquido. Si se hace uso de una corriente de mayor tension, se presenta un fenómeno distinto.

En este caso, el sitio de la oxidacion queda trasportado á la extremidad del hilo. Entónces se oye un silbido semejante al que produce un hierro enrojecido que se sumerge en el agua fria, y dicha extremidad del hilo produce un chorro de óxido muy dividido que se escapa en copos que no se disuelven en el líquido. Esta

experiencia constituye lo que se llama la nube de óxido producida en un voltámetro, en la extremidad de un electrodo positivo de hilo de cobre.

Si producida la nube de óxido se aproxima el polo de un iman á la extremidad de un electrodo, la nube de óxido toma un movimiento giratorio muy rápido en el sentido del polo del iman que se le presenta, y se forma la *espiral electro-dinámica* en la extremidad de un electrodo de cobre, bajo la influencia de un polo magnético. Entónces la rotacion se verifica conforme á las leyes de Ampère: *en sentido inverso del movimiento de las agujas de un reloj, en presencia de un polo boreal; y en el mismo sentido que el de las agujas de un reloj, en presencia de un polo austral.*

Esta experiencia se puede ejecutar tambien de la manera siguiente: Se toma una cubeta de vidrio ó porcelana, la cual se coloca encima de un electro-iman, y se llena de agua acidulada; se sumerge en el líquido un hilo metálico cualquiera, puesto en comunicacion con el polo negativo de una pila de 15 elementos de Bunsen. El hilo positivo de cobre se sumerge sucesivamente en el liquido, encima de cada polo del electro-iman. Entónces se produce la

nube de óxido, las espirales se desarrollan, viéndose las dos clases de éstas, de sentido diferente, permanecer algunos instantes en la superficie del líquido, aun cuando la corriente ha dejado de obrar, y que conservan aun el movimiento de que el líquido estaba animado bajo la influencia magneto-eléctrica, debido á que el óxido formado no se disuelve luego en el líquido, sino que flota en un estado de division extrema en su superficie.

La experiencia que hemos descrito puede relacionarse con las que han realizado Wartmann, Jamin y otros, relativas á la rotacion de los líquidos atravesados por corrientes, alrededor de los imanes.

El carácter peculiar de esta experiencia, descrita desde 1860 por Gaston Planté, *es la rotacion en forma de curvas espirales, á consecuencia de la accion magnética que se ejerce sobre las corrientes que radían alrededor de un mismo punto formado por la extremidad del electrodo; y la limpieza de estas espirales es tanto mayor, cuanto que el mismo electrodo suministra, por su desagregacion, la materia sólida necesaria para hacer visible la marcha de las corrientes en el seno del líquido.*

En 1878, Silvanus P. Thompson obtuvo es-

pirales análogas haciendo obrar sobre la limadura de hierro un iman atravesado por una corriente eléctrica, y las fijó, lo mismo que otros fantasmas magnéticos, debidos á las acciones electro-dinámicas.

IV

En las trombas y los ciclones la electricidad desempeña un papel muy importante, y se pueden reconocer grandes analogías entre ellos y los fenómenos de que nos hemos ocupado en los tres párrafos anteriores.

La experiencia en la cual una vena líquida, fuertemente electrizada, se derrama abajo de un imán, reproduce en proporciones infinitamente reducidas, pero con sus rasgos más característicos, los principales efectos de las trombas, como el ruido que hacen al producirse, la neblina que se forma alrededor de ellas, los rasgos luminosos ó los relámpagos silenciosos que las surcan, los globos de fuego que aparecen algunas veces en su extremidad, pues en la experiencia de la vena, cuando ésta encuentra la superficie del líquido, se forman alrededor de la chispa globulitos acuósos luminosos, así como vapor de agua y agua pulverizada;—la efervescencia ó hervidero de las aguas cuando tocan la

superficie del mar, etc. De todo esto resulta que las trombas pueden compararse á electrodos positivos de líquido ó de vapor, de los cuales se escapan hácia el mar ó el suelo las poderosas corrientes eléctricas de las nubes tempestuosas.

Por medio de esta experiencia de la vena líquida se ha podido justificar que el *movimiento giratorio* de las trombas es debido al derrame del flujo eléctrico bajo la influencia del magnetismo del globo; teniendo en cuenta que este movimiento se verifica como en la experiencia citada, esto es, *en sentido inverso de la rotacion de las agujas de un reloj, para el observador colocado en el hemisferio boreal, y en sentido directo para el observador colocado en el hemisferio austral.* Dampier en su «Viaje alrededor del mundo,» dice que cuando se acerca una tromba, «la superficie del mar comienza á agitarse, se ve al agua espumar y girar suavemente hasta que el movimiento rotatorio se ha acelerado . . . . .»

V

Los ciclones verifican tambien su movimiento en sentido giratorio. La rotacion de estas grandes corrientes aéreas tiene lugar en *espiral*, segun los diagramas de muchos navegantes, pu-

diendo citarse en apoyo de esta teoría las observaciones de Meldrum, director del Observatorio de la Isla Mauricio; de Wilson, director del Observatorio de Calcutta, y de otros, verificándose al estilo de los movimientos electro-dinámicos, *en espiral*, de que hemos hablado, cuando un flujo eléctrico escapándose de un solo punto, puede radiar en todos sentidos sobre un iman. Por otra parte, estos movimientos giratorios están comunmente acompañados, cuando nacen en las regiones intertropicales, de las más intensas manifestaciones eléctricas, segun lo afirman Reid, Piddington, de la Havane y Poey en el «Anuario de la Sociedad meteorológica;» A. Le Gras, Bridet, Roux y Zurcher y Margollé en sus obras sobre las «Trombas y ciclones,» Marié-Davy en «Los movimientos de la atmósfera y los mares,» C. C. Haskins en «La luz eléctrica,» y Planté en «Los fenómenos eléctricos de la atmósfera.» Hay, además, que tener en cuenta que los ciclones parecen desarrollarse alrededor de un punto, llamado *el ojo del ciclon*, que constituye un verdadero foco de electricidad. De todo lo que hemos dicho, los meteorologistas más sabios, entre ellos Planté, atribuyen las trombas y los ciclones á *la rotacion magneto-dinámica de las corrientes eléctri-*

cas de la atmósfera, á las cuales las nubes sirven de conductores móviles, y cuyo movimiento se comunica á las masas de aire que las rodean.

En la obra de H. Piddington «Guia del marino sobre la ley de las tempestades,» se lee que el mismo Reid, uno de los autores de las *Leyes de las tempestades*, habia presumido «que el electro–magnetismo tenia, quizás, alguna relacion con el carácter rotatorio de las tempestades y sus movimientos opuestos en los hemisferios diferentes.....» Esta opinion viene en apoyo de la teoría moderna sobre las causas del movimiento giratorio de los ciclones, pues muchos meteorologistas creen que es debido al encuentro de vientos de direccion contraria ó animados de velocidades diferentes.

Como ya hemos manifestado al tratar del torbellino de granizo, que tiene el mismo orígen que los ciclones, en las experiencias descritas es muy grande la velocidad con la cual se producen los movimientos electro–dinámicos. Pero como en el seno de la atmósfera la corriente eléctrica no se halla aprisionada en conductores metálicos, puede repartirse libremente, de un solo punto, en todos sentidos en el seno de un líquido.

Si se considera la rapidez de estos movimien-

tos, fácilmente se puede tener idea de la potencia que pueden alcanzar estas corrientes aéreas eminentemente móviles, cargadas de una gran cantidad de electricidad, radiando en todos sentidos en el seno de la atmósfera, y que se trasforman en movimientos giratorios debido al magnetismo del globo. Es preciso tener en cuenta que no se considera para esto la trayectoria de los ciclones ó sea su movimiento de traslacion, el cual está sujeto á la direccion de los vientos regulares superiores, combinada con el movimiento de rotacion de la tierra.

VI

Respecto de las trombas espirales, dirémos que el apéndice nebuloso que constituye las trombas, algunas veces se presenta en forma espiral con gavilla acuosa en su extremidad. Una de estas trombas fué observada en Niza (Francia) por Michaud, en 1789.

Noad en su «Libro sobre electricidad,» publicado en Lóndres en 1879, cita lo dicho por el capitan Beechey en la narracion de su viaje por el Océano Pacífico, que «un globo de fuego se precipitó en el mar; los relámpagos fueron muy numerosos, y la columna de la tromba descendió bajo la forma de una espiral. La gi-

racion fué en sentido inverso de la rotacion de las agujas de un reloj.»

Si tuviésemos un gran número de ejemplos de trombas en espiral, y si el sentido de ésta se reconociera que siempre fuese el mismo, tambien se podria atribuir esta forma de trombas, como el movimiento giratorio, á la accion del magnetismo terrestre.

Siempre es fácil explicar la formacion de una espiral por medio del movimiento de reaccion producido por el derrame del flujo eléctrico, como las experiencias descritas anteriormente. A esta misma causa se deben los relámpagos en hélice y las espirales fulgurantes cuya huella se ha encontrado sobre los árboles fulminados, segun lo aseguran Wilfrido de Fonvielle en su obra «Relámpagos y truenos,» Coulvier-Gravier en sus «Investigaciones sobre los meteoros,» y los redactores del periódico parisiense *La Nature.*

Tambien Ch. Moussette en 1886 y 1887, haciendo uso de la fotografía, ha logrado obtener de las pruebas fotográficas de los relámpagos que observó, espirales muy precisas formadas por estos relámpagos, y ha comparado su aspecto al que presentan en la noche los fuegos artificiales, cuyo movimiento de traslacion está

acompañado de un movimiento giratorio. Y ha reconocido que en relámpagos observados durante algunos minutos de intervalo, y que ha fijado sobre un mismo cliché, el roleo de las espiras no tenia el mismo sentido: en uno era *dextrorsum;* en el otro, formado por dos ramas, la vertical era *sinistrorsum*, y la segunda rama, arqueada en vuelta, era un hélice *dextrorsum.*

Por todo lo que hemos dicho se puede afirmar que las trombas siempre están cargadas de electricidad, y que deben su movimiento giratorio á dicha electricidad, aun cuando no se presenten acompañadas de ningun signo eléctrico. Y esto es debido á que en semejantes casos forman un conductor bastante perfecto para que el flujo eléctrico, sin trasformarse en calor y luz, pueda derramarse. Y hay además que decir que las trombas deben estar cargadas de electricidad positiva, porque si lo fueran de negativa, el movimiento giratorio no se verificaria sino en sentido inverso del que se observa en cada hemisferio, ya sea el boreal ó el austral.

Peltier y Brisson, físicos franceses, creen que la formacion de las trombas ó el descenso hácia el suelo de los apéndices nebulosos, puede considerarse como una atraccion electrostática entre las nubes y la tierra. Hay aún que tener en

cuenta una accion de trasporte, de la cual ofrece varios ejemplos la electricidad dinámica, y que tiene por objeto facilitar el derrame del agua de la nube electrizada. Es fácil concebir que un nimbus muy denso y muy cargado de electricidad, dé orígen á la caida de una columna acuosa, cuando pasa muy cerca del mar ó del suelo.

VII

Hay que citar por último la *marea alta* que acompaña á los ciclones, y los *seiches* que se observan en los lagos de Suiza. Consisten estos fenómenos en una elevacion repentina de las aguas en forma de olas ú ondulaciones, particularmente en las extremidades estrechas de los lagos, y los cuales se producen durante las tempestades, son, segun opiniones autorizadas, debidos á la electricidad.

Por medio de la experiencia de que ya hablamos, conocida por la mascarilla eléctrica, se puede probar el orígen eléctrico de estos fenómenos. Y por el fenómeno conocido por *bomba voltaica*, que ya describimos, se pueden explicar los efectos de *aspiracion* bastante enérgicos, producidos por las trombas, y concebir, especialmente, por qué en las trombas de aparien-

cia tubular, ejerciéndose esta aspiracion á lo largo de la columna electrizada, puede elevarse el agua á una altura indefinida, por lo que se designan estos meteoros bajo el nombre de *bomba* ó *sifon*, en algunos lugares de la tierra. De las paredes del mismo canal vaporoso puede provenir el agua aspirada, lo que explica que en las aguas que caen de las trombas marinas no haya sal.

Weyher, por la via mecánica, en 1887, ha imitado los efectos de aspiracion de las trombas. Aun cuando por medio de estas experiencias se pueden reproducir mecánicamente diversos efectos de electricidad, así como los de las trombas, hay que tener presente que en la naturaleza, la electricidad unida á la accion del magnetismo terrestre es la que produce los efectos mecánicos de las trombas, y que no es preciso que haya torbellinos de aire para que aparezcan.

Por medio de la electricidad estática se pueden producir algunos fenómenos de aspiracion y evaporacion; pero haciendo uso de fuertes corrientes de electricidad dinámica, en las que se reunan á la vez la *cantidad* y la *tension*, se pueden producir fenómenos que se acerquen más á los naturales.

Planté, el sabio meteorologista frances, deduce de todas estas experiencias que *las trombas y los ciclones son poderosos efectos electro-dinámicos producidos por las fuerzas combinadas de la electricidad atmosférica y del magnetismo terrestre.*

LAS AURORAS POLARES.

I

Muy pocas son las experiencias que se han llevado á cabo para producir fenómenos semejantes á los de las auroras polares, habiéndose limitado éstas á la produccion de fenómenos luminosos, por medio de corrientes eléctricas de alta tension en contacto con superficies húmedas. Vamos á dar una ligera idea de estas experiencias.

Cuando se coloca el electrodo positivo de una batería secundaria de 400 pares en contacto con las paredes húmedas de un vaso de agua salada, donde se halle sumergido el electrodo negativo, segun la mayor ó menor distancia del líquido respecto del electrodo positivo, se observa en la extremidad de éste, ya una *corona*,

formada por partículas luminosas, colocadas en forma de círculo alrededor del electrodo; ya un *arco* bordado de una franja de rayos brillantes; ya *una línea sinuosa animada de un rápido movimiento ondulatorio.*

Entónces se oye un ruido peculiar que aumenta constantemente, y sobre la línea de fuego se escapan violentos chorros de vapor de agua, como si este último ejerciese una presion sobre el fuego.

A medida que se sumerge más el hilo del electrodo, se produce un anillo luminoso cerrado que semeja un círculo, y á este anillo sucede otro y así sucesivamente, hasta que se obtiene una serie de ondas brillantes, en cuyo interior se agita el líquido por medio de un movimiento de remolino. Muchas veces se presentan alrededor de los remolinos líquidos, anillitos luminosos irregulares que parecen desprenderse del electrodo ó del cristal del vaso. Si éste es un tubo que tiene la forma de una U mayúscula, todas estas ondas se confunden y el líquido entra en una rápida ebullicion, al hacerse luminoso. Puede observarse que en este tiempo, si se coloca cerca del circuito una aguja imantada, su desviacion experimenta variaciones repetidas.

II

Las experiencias de que he hablado presentan fenómenos semejantes á los de las auroras polares. En ellas hemos visto que el flujo eléctrico se encuentra en presencia de masas acuosas ó superficies húmedas, como sucede con las auroras polares en la atmósfera.

Muchos meteorologistas de gran nombradía han estudiado este fenómeno ígneo, y entre ellos citaré á Humboldt, á Arago, á Bravais Lottin, á Piazzi Smyth, á Capron, á Liais, á Alfredo Angot, á Necker de Saussure, á Kaëntz, al Dr. Hjaltalin, al Dr. Robinson, á Sabine, á Quetelet y á Palmieri. Pero los que más se han distinguido son Sélim Lemström, sabio profesor de la Universidad de Helsingfors y Gaston Planté, eminente meteorologista frances.

El primero sostuvo, en 1875, que las auroras polares debian *ser el resultado de una descarga eléctrica entre las capas superiores de la atmósfera, cargadas de electricidad positiva, y la tierra considerada negativa.* Más adelante describiré las experiencias de este sabio, para apoyar su teoría; así como las de Planté, que consideraba

en 1876, y más tarde lo sostuvo en 1888, que *las auroras polares son el resultado de la difusion en las capas superiores de la atmósfera, alrededor de los polos magnéticos de la electricidad positiva que emana de las mismas regiones polares, sea en rayos oscuros, cuando no hay nubes interpuestas; sea convertida en calor y en luz por el encuentro de conjuntos acuosos, en el estado líquido ó sólido, que vaporiza con ruido, y precipita bajo forma de lluvia ó nieve, en la superficie del globo.*

III

En las experiencias que he descrito, aun siendo tan pequeñas las proporciones, se reconocen las coronas, los arcos luminosos de franjas de rayos brillantes, regulares ó sinuosos, y animados de un movimiento ondulatorio, bastante rápido. Este movimiento, especialmente, es el que presenta una analogía perfecta con el que se ha comparado en las auroras á los pliegues y repliegues de una serpiente ó á los de un colgajo movido por el viento.

El color amarillo de la luz que domina en estas experiencias, es producido por el uso que en ellas se hace del agua salada; pero en los lugares donde el agua está ménos cargada de sal, se notan tintes purpurinos y violáceos, seme-

jantes á los de las auroras, siempre que el agua venga del vapor condensado.

Ya hemos visto que los rayos del arco luminoso son debidos á la penetracion del flujo eléctrico en los conjuntos húmedos ó helados que encuentra, y se cree que los rayos de las auroras polares deben tener el mismo orígen. Como el vacío que resulta de este fenómeno, se llena en seguida, nuevos rayos se reproducen constantemente y está fuera de duda que los rayos de luz de las auroras parezca que sean lanzados á manera de flechas, y que se renueven á cada momento.

En cuanto al segmento oscuro ó círculo que forman en las auroras polares la bruma ó el velo nebuloso que encuentra al flujo eléctrico, éste corresponde, en las experiencias de que he hablado, al círculo ó segmento húmedo que rodea al electrodo, y alrededor del cual se extingue la corriente voltaica.

Como se vaporizan las porciones más cercanas del punto donde se verifica el derrame del flujo eléctrico, resulta que á una cierta distancia se trasforma en calor y luz la onda eléctrica detenida.

Respecto de la analogía qne hay entre el arco luminoso de las auroras y el producido en nues-

tras experiencias, ésta tambien es muy notable. Esta forma de derrame del flujo eléctrico en el voltámetro, se debe á que el líquido no rodea por completo al electrodo; pero cuando éste se halla sumergido de antemano, se producen ondas ó círculos luminosos completos, como acontece en las auroras, cuyo arco está considerado como la porcion visible para el observador de un círculo luminoso entero.

Respecto de la fluctuacion de la luz, ya hemos visto que cuando el flujo eléctrico agita violentamente el líquido, se forman remolinos por el choque de unas ondas electrizadas contra otras, y cuando se opera con una pequeña cantidad de líquido, se produce una ebullicion luminosa que corresponde perfectamente á la fluctuacion de la luz en las auroras polares, que es lo que más las caracteriza.

A medida que penetra el líquido en el electrodo, el vapor de agua se desprende con mayor violencia y abundancia. Las más fuertes baterías de electricidad estática apénas permiten sospechar este fenómeno que es de gran importancia, si se tiene en cuenta que él explica las caidas abundantes de lluvia ó de nieve que en las auroras polares siempre se han observado.

Despues de la aparicion de las auroras polares, se producen grandes vientos, debido á que la descarga de una gran cantidad de electricidad en la atmósfera, por su accion calorífica, por la vaporizacion instantánea y la condensacion rápida que resulta, producen la formacion de grandes y poderosas corrientes aéreas.

Cuando aparecen las auroras boreales, se escucha un ruido confuso, que en concepto de los que lo han oido, es semejante al de las experiencias que hemos descrito, y el cual se debe á la vaporizacion producida por los surcos de fuego eléctrico que penetran en una masa húmeda. El Dr. Kaëmtz asegura en su «Tratado de meteorología,» que «este ruido es muy intenso, cuando los rayos son lanzados con vivacidad.»

Tambien es más notable este ruido en el voltámetro, cuando los rayos que bordan el arco luminoso son más largos y se forman con más violencia en el seno del líquido.

Algunos meteorologistas creen que este ruido no se produce; pero para destruir su creencia, basta citar que los habitantes de las regiones boreales están todos de acuerdo en que sí se produce durante la aparicion de las auroras, afirmando la veracidad de este fenómeno, Kaëmtz, Arago, Necker de Sausurre y el Dr.

Hjaltalin, que lo ha oido personalmente en las regiones polares.

Para reproducir, en las experiencias que he descrito, las perturbaciones causadas por las auroras polares, basta colocar una aguja imantada cerca del circuito. Segun que el arco luminoso se desarrolle más ó ménos en el líquido, así aumentará ó disminuirá la desviacion de la aguja.

Por todo lo que se ha observado ya en las experiencias del voltámetro, se puede afirmar que las auroras deben ser producidas por un flujo de electricidad *positiva,* puesto que los fenómenos luminosos que presentan son los mismos que los del electrodo positivo en el voltámetro, sin que el electrodo negativo presente analogía alguna.

Por último, tenemos que convenir con Gaston Planté, que «el vacío imperfecto de las altas regiones es el que funcionando como una inmensa cubierta conductora, desempeña el papel del electrodo negativo en las experiencias de que he hablado, y que la *electricidad positiva se derrama hácia los espacios planetarios y no hácia el suelo á través de las brumas ó las nubes heladas que flotan encima de los polos.»*

Para terminar el capítulo relativo á las auroras boreales ó polares, podria aquí dar un re-

súmen de la bellísima teoría de Planté acerca del orígen de la electricidad de las auroras polares y de la electricidad atmosférica en general, la cual concuerda en parte con la hipótesis de Ampère, que admite la existencia de una corriente eléctrica de direccion determinada, que rodea al globo y produce su accion magnética, pero seria muy difuso al hacerlo. La teoría de Planté ha merecido la aprobacion de los meteorologistas ingleses Pyazzi Smith y Sabine, y en el desarrollo de ella están las razones en que funda el sabio frances lo que para él constituyen las auroras polares, que ya hemos citado más adelante.

DIVERSOS FENOMENOS PRODUCIDOS DURANTE LAS TEMPESTADES.

I

Así como en las experiencias que he descrito anteriormente, he manifestado el papel que desempeñan las corrientes eléctricas de alta tension, voy ahora á presentarlas en el sentido de que pueden iluminar los tubos de aire rarificado de una resistencia de muchos millares de ohms. La claridad emitida es aún más brillante que la producida por corrientes de induccion.

Sucede en algunos casos que la resistencia es muy grande para que los tubos puedan ser iluminados luego, y entónces es preciso añadir á uno de los polos un suplemento de tension, aproximando ó alejando de ellos un cuerpo cargado de electricidad estática, como por ejemplo,

el platillo de un electróforo ó un baston de ebonite frotado, determina dicho cuerpo que el tubo de aire rarificado quede iluminado en seguida.

Esta experiencia puede hacerse con baterías secundarias de láminas de plomo, cargadas por tres pares de sulfato de cobre, las cuales, por su descarga, iluminan un tubo con aire rarificado.

Cuando en esta experiencia se interponen dos peines,—tal es la figura que deben tener dos pedazos de papel de filtrar, humedecido con agua destilada,—en el circuito de las baterías y del tubo de aire rarificado; entónces el tubo se ilumina con *intermitencias* espontáneas; las claridades se presentan allí como relámpagos, separados por intervalos de uno ó varios segundos, y así se están reproduciendo durante varias horas, hasta que quede completamente descargada la batería.

He descrito estas experiencias porque ellas dan una idea análoga de lo que se verifica en la atmósfera respecto de las *intermitencias en las descargas de las nubes tempestuosas,* puesto que las nubes sin recargarse ó sin engendrar nuevas cantidades de electricidad, pueden producir efectos intermitentes que se prolonguen por mucho tiempo, con una carga dada.

Respecto del uso de los peines de papel, humedecido con agua destilada, éstos, en la experiencia descrita, representan las porciones irregulares de nubes que se encuentran á distancias más ó ménos grandes, unas de otras, y constituyen, por decirlo así, un aparato imperfecto que no permite la descarga de toda la electricidad que contiene la batería en una sola vez. Hay que tener tambien en cuenta que la pequeñísima cantidad de agua que se encuentra en la extremidad de las puntas, se vaporiza violentamente por el efecto calorífico de la descarga; y desde que la conductibilidad del medio es insuficiente, queda interrumpida la corriente.

Pero como son numerosísimas las puntas, otras partes húmedas se presentan al contacto, y entónces la descarga se reproduce, bien por un punto ó por otro, pero de una manera intermitente.

Una nube tempestuosa más ó ménos dividida, se la puede considerar como teniendo una carga determinada y limitada de la electricidad que ha recogido en su trayectoria á través de las altas regiones de la atmósfera, constantemente electrizadas. Esta carga se puede asimilar á la que se halla contenida en la batería secundaria. Pero teniendo en cuenta la naturaleza

vaporosa y móvil que constituye la nube, la descarga no puede ser completa en una sola vez, cuando se encuentra con otra nube ó cúando las porciones de la misma nube vienen á separarse unas de otras y presentan al cabo de cierto tiempo, diferencias en su estado de tension eléctrica. En este caso, los relámpagos se reproducen con mayor ó menor intensidad, segun la mayor ó menor distancia de los fragmentos nebulosos, ó segun la mayor ó menor conductibilidad del medio interpuesto; como sucede en la experiencia descrita, con los peines de papel húmedo.

Beccaria cree que las nubes tempestuosas resultan de la reunion de nubecillas distintas, desgarradas y fraccionadas. Tambien sostiene que una gran nube no puede ser tempestuosa por sí sola. Para que una nube sea tempestuosa se requiere que sea muy extensa y que entre su superficie inferior y la tierra se interpongan varias nubecillas.

Si algunas de las puntas de los peines de papel contienen mucha humedad, éstas vienen á encontrarse en contacto más prolongado, y si la vaporizacion dura más tiempo, entónces la claridad en el tubo de aire rarificado dura muchos segundos y minutos, y de esta suerte se explica

la emision de luz sin trueno y sin descargas estrepitosas que muchos meteorologistas y viajeros célebres han observado en ciertas nubes ó en porciones de nubes tempestuosas, y entre ellos se pueden citar á Arago, Abbadie, Rosier, Nicholson, Beccaria, Sabine, etc.

Estos efectos son debidos á una descarga intermitente ó continua de la electricidad acumulada y contenida en la nube.

Saussure afirma que él sólo ha visto que tienen lugar las tempestades en los lugares montañosos, «en el momento del encuentro ó del conflicto de dos ó más nubes.»

Planté cree que en las regiones relativamente bajas de la atmósfera, donde con frecuencia aparecen las tempestades, no hay un medio de aire rarificado bien constituido, como en los tubos de Geissler, que se emplean en la experiencia de que he hablado. Y asegura que la electricidad, por su poder calorífico, vaporizando inmediatamente las extremidades húmedas de las dos porciones de la nube electrizada, se produce el vacío necesario para que la descarga aparezca en el estado luminoso.

Para terminar lo relativo á las intermitencias de las descargas en las nubes tempestuosas, diré algo respecto de los *relámpagos de calor*.

Por medio de la experiencia descrita se tiene una representacion perfecta de estos relámpagos. Le Roux los ha imitado y explicado por medio de globos de aire rarificado, colocados en la proximidad de una máquina eléctrica, de donde sacaba las descargas que determinaban en estos globos, por un efecto de induccion electrostática, la produccion de las claridades.

Esta clase de relámpagos se reproduce en esta experiencia espontánea y directamente, sin ser provocados por influencia, que es el caso que en la naturaleza acontece las más veces.

II

Respecto de las formas de los relámpagos, puede decirse que las chispas de las máquinas eléctricas y de los carretes de induccion, imitan muy bien la forma de los relámpagos comunes, esto es, en zig-zag.

La *máquina reostática* permite obtener, entre dos puntas, chispas cuya semejanza de forma con la de los relámpagos es muy marcada.

La máquina reostática se compone de un gran número de condensadores, de lámina delgada de mica, alternativamente cargados en superficie y descargados en caida por una fuente de

electricidad voltaica de alta tension, ó sea una batería secundaria de 800 pares.

Por medio de la fotografía se obtienen reproducciones instantáneas de los relámpagos. Basta establecer una comparacion entre las fotografías que representan los relámpagos y las chispas de la máquina reostática, y se reconocerá en ambas el mismo género de ramificaciones, en forma de anastomosis.

Las chispas de la máquina reostática se obtienen haciéndolas estallar sobre la flor de azufre repartida sobre un platillo de resina. La huella que dejan queda visible aun despues que la chispa ha estallado, y puede ser grabada sobre la misma resina por medio de un buril ó un punzon, y en seguida calcada con toda exactitud.

III

Las chispas producidas por la máquina reostática dan lugar á arborizaciones, que aparecen quitando el exceso de azufre por medio de algunos ligeros choques dados á la lámina aisladora, sobre la que han dejado su surco ó huella. Por medio de estos efectos se explican las marcas de apariencia vegetal que se observan fre-

cuentemente en las personas fulminadas por el rayo, y cuyas marcas no son sino el resultado de las ramificaciones del rasgo del mismo rayo.

Estas marcas que presentan las personas fulminadas por el rayo, tienen mucha analogía y se explican por medio de la experiencia que acabo de describir. Luego que la chispa se produce, se ve á la flor del azufre proyectada en el aire, de preferencia alrededor de los dos polos. Pues lo mismo sucede en el caso del rayo. El polvo del suelo ó cualquiera otra materia colocada sobre el paso de la descarga, debe ser proyectada, y es fácil comprender que esta materia, elevada á una temperatura muy alta, pueda producir en el cuerpo del hombre una cauterizacion violenta que generalmente tiene la forma arborescente. De suerte que este fenómeno se explica por medio de la experiencia que ya he descrito.

IV

Cuando el rayo ataca á los vegetales, los efectos de extenuacion que produce en ellos, tales como su division en latas, correhuelas ó en briznas incontables; su arrancamiento, su levantamiento y los efectos de aspiracion que acompañan frecuentemente á las descargas de la electricidad

atmosférica, pueden explicarse fácilmente por medio de la experiencia siguiente:

Cuando se coloca una hoja de papel de filtrar, humedecida con agua salada, en comunicacion con una batería secundaria de 400 pares; y si por otra parte se toca la superficie húmeda con el polo positivo, debajo de este hilo, con desprendimiento de luz y proyeccion de vapor, se produce una cavidad en forma de *cráter* erizado, y en sus bordes una multitud de filamentos desecados y enredados unos en otros. Entónces se encuentra el hilo positivo cubierto de un magma formado por la pasta del papel trasportado, y alrededor del electrodo quedan adheridos restos filiformes cuya longitud varia entre 10 y 16 centímetros. Hácia el electrodo positivo quedan dirigidas las extremidades de estos filamentes.

Se puede afirmar que la accion calorífica ejercida por la corriente, la cual vaporiza y deseca violentamente las fibras húmedas de la materia orgánica, es la causa de estos fenómenos, los cuales tambien son debidos á su gran tension, que como se sabe produce efectos de atraccion ó de aspiracion y la division mecánica de la materia sometida á la descarga.

Al tratar del granizo ya hablé de la experien-

cia de la gavilla de glóbulos acuosos, producida en la superficie de un líquido por una corriente eléctrica de alta tension, con un electrodo positivo formado con papel húmedo. En dicha experiencia la chispa se presenta como si fuese una canastilla de puutas luminosas, y así demuestra la forma que la electricidad negativa parece elegir al ir al encuentro de la electricidad positiva, con el fin de neutralizarla. En estas experiencias se apoyó el sabio belga Melsens para construir sus pararayos en forma de canastilla de puntas, con el objeto de dar más seguridad á las construcciones defendidas por esta clase de pararayos. Ultimamente Buchin ha inventado una nueva forma de pararayos, propia para la defensa de los depósitos de pólvora, la cual hasta hoy no se ha puesto en uso en México, segun mis noticias, lo que evitaria muchas desgracias en los polvorines.

V

Voy ahora á ocuparme de dar á conocer una magnífica experiencia del malogrado sabio frances Gaston Planté, cuyo objeto es demostrar las alteraciones de la cohesion molecular de los ta-

llos y los conductores de los pararayos, á consecuencia de las tempestades.

Antes hay que advertir que las corrientes eléctricas de alta tension pueden, al atravesar conductores metálicos, determinar una alteracion molecular notable en su interior y cambiar su textura molecular, haciéndolos frágiles y quebradizos. Esto es lo que ha observado Planté como resultado de las experiencias que ha hecho con la corriente de cantidad de la máquina reostática.

Esta experiencia consiste en lo siguiente: Se dispone la máquina reostática de manera que todos los condensadores estén asociados en cantidad, durante la descarga, y puesta en accion por la batería secundaria de 800 pares, da una corriente dotada de propiedades especiales y cuyos efectos mecánicos son muy superiores á los caloríficos.

Dispuesta así la experiencia, miéntras que un hilo de platino muy fino, atravesado directamente por la corriente de alta tension de la batería, solamente se enrojeceria, sin que se notase cambio alguno en su forma; si este hilo queda atravesado por la corriente de descarga de la máquina reostática, se observa que al momento cambia de forma. La longitud del hilo,

siendo de 40 centímetros, se ve aparecer en ella y á distancias algo irregulares pliegues de ángulos salientes. El hilo cambia de forma.

Estos ángulos algunas veces se presentan casi regularmente opuestos de distancia en distancia; pero con frecuencia se ven dos ó tres consecutivos, cuyo vértice se halla situado en la misma direccion.

Si se sigue haciendo girar la máquina, despues de haber aproximado las pinzas entre las cuales se halla fijado el hilo, á fin de que no se tienda hasta que pueda romperse; entónces, alrededor de los ángulos ya formados se presentan nuevos pliegues, y el hilo vuelve á cambiar de forma. Si se acorta la longitud del hilo hasta reducirla á 10 centímetros, se enrojece hasta el blanco y presenta ángulos muy numerosos y sinuosidades de tal suerte acentuadas, que semeja el aspecto de una chispa eléctrica continua.

Durante el fenómeno se oye, cerca del hilo, un ruido ó un crujido semejante al de una chispa que se produjera en el mismo hilo; aun cuando es preciso advertir que este hilo no presenta solucion de continuidad. Planté asegura que este ruido es debido á «la alteracion molecular resultante del paso de la corriente de la

máquina, que tiene por efecto determinar contracciones muy bruscas y dilataciones de la materia de los cuerpos que atraviesa;» y que es producido sin la intervencion de ninguna accion electro-magnética.

A consecuencia del paso de la corriente el hilo se hace muy quebradizo y termina por romperse espontáneamente cuando la duración de la experiencia pasa de dos minutos.

De aquí se puede deducir que si las descargas de la máquina reostática producen dichos fenómenos, con mayor razon el paso de las corrientes del rayo, que reunen en más alto grado que la máquina reostática la cantidad y la tension eléctricas, debe producir sobre conductores más gruesos, como los tallos ó las cuerdas de los pararayos, efectos análogos.

De aquí resulta que dichos conductores pueden ser muy quebradizos, no sólo por las caidas directas del rayo, sino por el derrame silencioso de grandes cantidades de electricidad atmosférica, lo que demuestra que aun cuando no sea visible el estado imperfecto de estos conductores, las más de las veces ocasionan desgracias. debido á las alteraciones que las descargas de las corrientes de alta tension los hacen sufrir.

Para terminar el presente estudio sobre los fenómenos eléctricos de la atmósfera, diré que hace poco tiempo se observó en Ribnitz (Alemania) y en Blois (Francia) los golpes extraordinarios de rayos acompañados de chorros de agua. Planté cree explicar este fenómeno por medio de la experiencia de la *bomba voltaica* ó del *ariete hidro-eléctrico* que ya describí en el capítulo relativo á las trombas y los ciclones. Debe atribuirse á los efectos mecánicos que puede ocasionar la electricidad atmosférica, descargada bajo condiciones determinadas.

Pudiera añadir como por via de apéndice las relaciones de multitud de casos de los fenómenos de que me he ocupado en este trabajo, pero como la mayor parte de las que poseo han pasado en Europa, y respecto de los casos acaecidos en México tengo muy pocas, seria ocioso hacer más extenso este imperfecto estudio. Por si alguna persona lo quisiere utilizar, le añado un pequeño cuestionario sobre los principales puntos de esta obra.

CUESTIONARIO.

EL RAYO GLOBULAR.

I. ¿Cuáles son los aparatos que se emplean para las experiencias que permiten reproducir por medio de corrientes eléctricas de alta tension, fenómenos análogos á los del rayo globular?—¿Cuántos de estos aparatos se han empleado en dichas experiencias?

II. ¿Cómo se puede explicar por medio de experiencias la aparicion de los *glóbulos líquido-luminosos?*—¿Qué fenómenos se observan en estas experiencias, y á qué causas son debidos?

III. ¿Cómo se obtienen artificialmente los *glóbulos de fuego?*—¿Qué movimiento se obser-

va en los glóbulos de fuego, y qué semejanza tiene con el movimiento de los glóbulos líquido-luminosos?—¿Cuál es la constitucion física de los glóbulos de fuego, y qué demuestra en ellos la presencia del hidrógeno?—¿Cuál es la forma de la chispa de los glóbulos de fuego y cómo se obtiene ésta?—¿Cómo se pueden reconocer en la oscuridad los movimientos de los glóbulos de fuego?

IV. ¿Cómo se puede demostrar experimentalmente que cuando la chispa eléctrica afecta la forma de un glóbulo de fuego ambulante, resulta de la accion de una gran cantidad de electricidad sobre la materia ponderable?—¿Cómo se puede ejecutar la experiencia necesaria para reproducir el glóbulo de fuego ambulante y qué fenómenos se observan en ella?

V. ¿Cómo se puede dar una idea exacta de lo que es el rayo globular, por medio de las experiencias anteriores?

VI. ¿Qué cosa son los globos fulminantes, en qué circunstancias se producen, y cómo se puede explicar su formacion?

VII. ¿A qué deben la viveza de su resplandor los globos fulminantes, y cómo se puede explicar este fenómeno?

VIII. ¿A qué se debe el olor especial que acompaña á la caida del rayo y de los globos de fuego, así como el olor sulfuroso?—¿Cómo se explica el ruido especial que acompaña la aparicion de los globos fulminantes y á qué es debido?—¿Cuál debe ser el signo eléctrico de estos globos?—¿A qué se debe el movimiento giratorio de dichos globos, de los glóbulos líquidos y de los hilitos luminosos que forman las llamas ovoides del voltámetro?

IX. ¿Bajo cuántas formas se presenta el rayo globular?—¿Cuándo deben los glóbulos de fuego tener por orígen los relámpagos en forma de rosario?—¿De cuántos modos y cómo se produce la marcha lenta de un globo de fuego?—¿Cómo se pueden demostrar experimentalmente estos fenómenos y qué se observa durante su produccion?

X. ¿En qué casos pueden producirse los globos fulminantes por *influencia* y cómo se presen-

tan á la vista?—¿De qué clase de movimiento están animados?—¿Cómo se puede explicar este fenómeno por medio de experiencias?

XI. ¿Cómo verifican su desaparicion los globos fulminantes y cómo se explica este fenómeno?—¿Qué fenómenos se observan cuando los globos fulminantes desaparecen sin ruido, y cuáles cuando lo hacen acompañados del ruido del trueno?—¿Cómo puede la electricidad producir el vacío?

XII. ¿Por qué son ineficaces los pararayos enlos casos de rayo globular?—¿En qué casos sepresenta en la atmósfera una especie de *electrodo nebuloso*, y entónces qué acontece?—¿Qué peligros presentan al observador los efectos de los globos fulminantes de movimientos lentos?—¿Cuál es la utilidad de los pararayos de puntas múltiples de Melsens?

XIII. ¿Qué experiencias son las que pueden dar una idea exacta acerca del rayo globular y del trueno en bola?—¿Cuál es la opinion de Planté acerca del rayo globular?—¿Cómo se explica la marcha lenta y caprichosa de los glo-

bos fulminantes?—¿De qué medios se han valido los meteorologistas modernos para dar una idea del rayo globular?—¿Quiénes han sido los principales meteorologistas que han observado los relámpagos en forma de *rosario ó punteados*, y qué se puede decir respecto de sus observaciones?

EL GRANIZO.

I. ¿Cuáles son las experiencias que permiten reproducir artificialmente el fenómeno del granizo y en qué consisten?

II. ¿Qué sucede cuando la corriente eléctrica en vez de encontrar una capa profunda de líquido no halla sino una superficie húmeda?—¿Por qué varia la accion de la corriente y qué resulta de esto?—¿Cuándo es intermitente la formacion de surcos luminosos acompañados de chorros de vapor?

III. ¿Cómo se puede explicar el fenómeno del granizo?—¿En qué consiste el fenómeno de la *gavilla de glóbulos acuosos*, y qué se demuestra por medio de él?—¿Cómo se produ-

cen los pedriscos?—¿Qué cosa son las nubes?—¿Cómo se encuentran formadas las de las altas regiones de la atmósfera?—¿Qué efecto producen sobre ellas las descargas eléctricas?—¿Cómo se explica la formacion de los pedriscos?—¿Cómo puede considerarse al granizo?

IV. ¿Qué es lo que se observa durante las tempestades de granizo?—¿Qué papel desempeñan los efectos mecánicos y caloríficos producidos por el flujo eléctrico durante la produccion del granizo?—¿Qué es preciso que haya en la atmósfera para que las descargas eléctricas puedan producir la pulverizacion?—¿Cuál es la apariencia de las grandes nubes de granizo?

V. ¿Cómo se explican los movimientos violentos que se producen en el centro de las nubes de granizo, así como la trasformacion rápida de los cirrus en nimbus?—¿De qué dependen las desgarraduras multiplicadas de las nubes de granizo, así como las recortaduras que presentan?—¿A qué se debe el viento violento que acompaña á las tempestades de granizo?—¿Cuáles son las causas del ruido que acompaña y precede á la caida del granizo?—¿A

qué se deben los relámpagos con ó sin trueno, que acompañan á las tempestades de granizo?

VI. ¿Cómo se puede explicar que debiendo su orígen el granizo á la electricidad, puede producirse sin manifestaciones eléctricas aparentes?

VII. ¿A qué se debe la corta duracion de las caidas de granizo?—¿Por qué sucede que el granizo cae en bandas tan estrechas que en unos lugares deja huellas de su caida y en otros nó?—¿Por qué á veces se ve cubierta una region dada por bandas de granizo, y entónces qué se observa?—¿Por qué algunas veces entre las bandas de granizo suelen alternar bandas de lluvia?—¿Qué es lo que pasa en las intermitencias ó recrudescencias que se observan en la caida del granizo ó en los golpes de viento que la acompañan?

VIII. ¿Cómo se explica que las asperezas y las protuberancias, así como el fulgor de los pedriscos sea debido á la electricidad?—¿Cuál es la estructura de los pedriscos?—¿Cómo se forman los que presentan una estructura radiosa

que parte del centro, y cómo los que tienen un núcleo blanco, opaco, cubierto de capas de hielo alternativamente opacas y trasparentes?

IX. ¿A qué son debidos los torbellinos de granizo y cómo puede explicarse este fenómeno?

X. ¿Qué papel desempeña la electricidad en la produccion del granizo, y cuál los vientos y las corrientes de aire?

LAS TROMBAS Y LOS CICLONES.

I. ¿Cuáles son las experiencias que se han hecho para reproducir por medio de las corrientes eléctricas de alta tension, efectos análogos á los de las trombas y los ciclones?—¿En qué consiste la experiencia de la vena líquida electrizada?

II. ¿En qué consiste la bomba voltaica y para qué sirve?—¿Qué cosa es el ariete hidro-eléctrico?—¿Cuáles son los fenómenos de aspiracion que produce la bomba voltaica?—¿Qué cosa son los conos líquidos, cómo se pro-

ducen y qué fenómenos se observan durante su produccion?

III. ¿En qué consiste la experiencia de las espirales electro-dinámicas?—¿Cómo se puede verificar esta experiencia?—¿Con qué otras experiencias puede relacionarse?—¿Cuál es su carácter especial?—¿Cuáles son los trabajos debidos á Thompson en este sentido?

IV. ¿Qué papel desempeña la electricidad en la produccion de las trombas y los ciclones? ¿Qué analogías presenta con las trombas la experiencia de la vena líquida?—¿A qué se pueden comparar las trombas?—¿A qué es debido el movimiento giratorio de las trombas y cómo se demuestra esto?

V. ¿Cómo verifican su movimiento los ciclones y cómo tiene lugar este fenómeno?—¿Qué autoridades pueden citarse en apoyo del movimiento giratorio y en espiral de los ciclones? —¿Cómo parecen desarrollarse los ciclones?—¿A qué son debidos las trombas y los ciclones? —¿Cómo se pueden explicar y demostrar los movimientos de los ciclones?

VI. ¿Qué se puede decir respecto de las trombas en espiral y á qué son debidas?—¿A qué se deben los relámpagos en forma de hélice y las espirales fulgurantes?—¿Cuáles son las observaciones que ha hecho Moussette respecto de estos fenómenos?—¿Cómo se puede demostrar que las trombas siempre están cargadas de electricidad y que deben su movimiento giratorio á dicha electricidad?—¿Cuál es la teoría de Peltier y Brisson respecto de la formacion de las trombas ó del descenso hácia el suelo de los apéndices nebulosos?

VII. ¿En qué consisten la marea alta y los seiches?—¿Cómo se puede demostrar el orígen eléctrico de estos fenómenos?—¿Por qué se les llama á las trombas bombas ó sifones?—¿Cómo se explica que en las aguas marinas donde caen las trombas, no hay sal?—¿Cómo se pueden reproducir los efectos mecánicos de las trombas, y cómo algunos fenómenos de aspiracion y evaporacion?—¿Cuál es la teoría de Planté respecto de las trombas y los ciclones?

AURORAS POLARES.

I. ¿Cuáles son y en qué consisten las experiencias que se han llevado á cabo para produ-

cir fenómenos semejantes á los de las auroras polares, por medio de corrientes eléctricas de alta tension, en contacto con superficies húmedas?

II. ¿Quiénes son los principales meteorologistas que se han distinguido en el estudio de las auroras polares?—¿Cuál es la teoría de Sélim Lemström, y cuál la de Planté acerca de las auroras polares?

III. ¿Qué analogías hay entre las auroras polares y las experiencias que se han hecho para reproducir artificialmente sus principales caracteres?—¿A qué se debe el color amarillo de la luz que domina en estas experiencias?—¿Cuál es la causa de los rayos de las auroras polares?—¿A qué corresponden el segmento ó círculo que rodea al electrodo en las experiencias sobre las auroras polares con las del fenómeno natural?—¿Cuándo y por qué se trasforma en calor y luz la onda eléctrica detenida?—¿Qué analogía hay entre el arco luminoso de las auroras y el producido en las experiencias relativas, así como respecto de la fluctuacion de la luz?—¿Cuándo se desprende el vapor de

agua con mayor violencia y abundancia, y qué es lo que explica este fenómeno?—¿A qué se debe la produccion de grandes vientos despues de la aparicion de las auroras polares, y por qué se escucha un ruido confuso cuando aparecen?—¿Cuándo es muy notable un ruido semejante en el voltámetro?—¿Cómo se demuestra que este fenómeno existe?—¿Cómo se pueden reproducir las perturbaciones causadas por las auroras polares?—¿Cómo se puede demostrar que las auroras polares deben ser producidas por un flujo de electricidad *positiva*?—¿Qué es lo que cree Planté acerca de las auroras polares?

DIVERSOS FENÓMENOS PRODUCIDOS DURANTE LAS TEMPESTADES.

I. ¿Cómo pueden las corrientes eléctricas de alta tension iluminar los tubos de aire rarificado de una resistencia de muchos millares de ohms?—¿Cuáles son las experiencias que es preciso hacer para producir este fenómeno?—¿Qué analogías presentan estas experiencias con las intermitencias en las descargas de las nubes tempestuosas?—¿Cuál es la creencia de Beccaria respecto de las nubes tempestuosas, y

cuál es el carácter esencial de éstas?—¿Cómo se explica la emision de luz sin truenos y sin descargas estrepitosas en ciertas nubes ó en porciones de nubes tempestuosas?—¿Qué es lo que asientan Saussure y Planté respecto de dichas nubes?—¿Qué son los relámpagos de calor, cómo se explican y cómo se pueden producir experimentalmente?

II. ¿Cómo se pueden reproducir las formas de los relámpagos y de qué aparatos es preciso hacer uso para obtenerlas?—Descripcion de la máquina reostática.—¿Cómo se obtienen las reproducciones instantáneas de los relámpagos y cómo las chispas de la máquina reostática?

III. ¿Qué es lo que explican las arborizaciones producidas por las chispas de la máquina reostática, y cómo se obtienen las primeras?

IV. ¿Cuáles son los efectos que produce el rayo cuando ataca á los vegetales y cómo se pueden explicar?—¿Cuáles son las experiencias que sirvieron á Melsens para construir su pararayo de puntas múltiples, y para qué sirve este aparato?

V. ¿Cómo se demuestran experimentalmente las alteraciones de la cohesion molecular de los tallos y los conductores de los pararayos, á consecuencia de las tempestades?—¿En qué se funda esta experiencia y qué fenómenos se observan en su duracion?—¿A qué se deben los golpes extraordinarios de rayos acompañados de chorros de agua?

FIN.

ÍNDICE



